

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

Pásová jednotka mobilního robotu ARES

Track Unit of the Mobile Robot ARES

Student:

Tomáš Vlček

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Matěj Gala

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robotiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Vlček**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2301R013 Robotika**
Téma: **Pásová jednotka mobilního robotu ARES**
Track Unit of the Mobile Robot ARES

Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s aktuální podobou řešení konstrukce pásové jednotky mobilního robotu Ares. Analyzujte podrobně konstrukční a provozní nedostatky stávajícího řešení.
2. Navrhněte alternativní řešení využívající aktuálně dostupné prvky (komponenty)s ohledem na bezpečnost provozu, proveďte jejich rešerši.
3. Pro vybrané řešení zpracujte ekonomicko - technické zhodnocení výroby.
4. Navržené úpravy podložte kontrolními výpočty.
5. Zpracujte kompletní výkresovou dokumentaci alternativního řešení.
6. Práci dodejte též ve formátu MS word.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 2007. 48 s.

ČSN ISO 690 *Informace a dokumentace - Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Český normalizační institut, 2010.

DRASTÍK, F. *Technické kreslení I. – pravidla tvorby výkresů ve strojírenství*. 2. vydání. Ostrava: Montanex Ostrava, 2005. 260 s. ISBN 87-7225-195-3.

STUDÉNKA, M. *Návrh modulární konstrukce pásového podvozku s proměnnou kinematikou rámu*. Diplomová práce, VŠB – TU Ostrava, 2010.

SKAŘUPA, J.; MOSTÝN, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. 1. vydání. Košice: Viena Košice, 2002. 190 s. ISBN 80-88922-55-0.

KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. 1. vydání. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004. 139 s. ISBN 80-248-0626-6.

NOVÁK, P. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. 1. vydání. Praha: BEN Praha, 2005. 247 s. ISBN 80-7300-141-1.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Matěj Gala**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016

prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 16. 5. 2016



Tomáš Vlček

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 16. 5. 2016



.....

Tomáš Vlček

Máchova 72

741 01, Nový Jičín

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Matěji Galovi za rady, podklady, připomínky a cenné rady při vypracovávání práce. Taktéž za ochotu, kterou se mnou měl. Panu Ing. Milanu Miholovi, Ph.D. bych chtěl poděkovat za cenné konstrukční rady. V poslední řadě bych rád poděkoval své ženě, která mě po celou dobu studia podporovala.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VLČEK, T. *Pásová jednotka mobilního robotu ARES*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky, 2016, 51 s. Vedoucí práce: Gala, M.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem pásové jednotky mobilního robotu ARES. Úvod práce je zaměřen na popis stávajícího provedení lokomočního ústrojí, jeho možné použití v praxi, výhody a nevýhody. Součástí návrhu jsou čtyři varianty koncepčního řešení a následný výběr optimální, pomocí vícekritériální analýzy. Práce obsahuje také 3D model finální varianty provedení pásové jednotky v CAD systému SolidWorks, sestavný výkres, výrobní výkresy, návrhový výpočet čepů pásu, drážkování náboje hnací řemenice, návrh tlačných pružin.

ANNOTATION BACHELOR THESIS

VLČEK, T. *Track Unit of the Mobil Robot ARES*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Engineering, Department of Robotics, 2016, 51 s. Supervisor of the thesis: Gala, M.

This bachelor thesis deals with the design of the track unit of the mobile robot ARES. The introduction of the thesis is focused on the description of the current version of the locomotor system, its possible use in practice, advantages and disadvantages. There are four variants of conceptual solutions included in this design, followed by selection of the optimum, using the multi criteria analysis. This bachelor thesis also includes a 3D model of the final design variant of the track unit of the mobile robot ARES in the CAD system SolidWorks, a assembly drawing, parts drawings, a design calculation of belt pins, grooving of power wheel and proposal of compression springs.

Obsah

Seznam použitého značení.....	7
1. Úvod	10
2. Servisní roboty s pásovým lokomočním ústrojím	11
2.1 Popis stávajícího provedení robotu ARES	11
2.2 Analýza problematiky řešení lokomočního ústrojí	12
2.2.1 Uvolňování pásu	13
2.2.2 Zouvání pásů na betonovém podkladu	13
2.2.3 Zhoršená schopnost pohybu v bahnitém terénu.....	13
2.2.4 Bezpečnost zařízení	14
2.2.5 Životnost pásu.....	14
2.2.6 Tuhost podvozku.....	14
2.3 Alternativní řešení podvozku robotu Ares	15
2.3.1 Mechanické napínání	15
2.3.2 Pneumatické napínání	16
2.3.3 Hydraulické napínání.....	16
2.3.4 Profil pásu	16
3. Požadavkový list	17
4. Možné varianty provedení	19
4.1 Varianty provedení s pneumatickým pístem.....	19
4.2 Varianty provedení s tlačnými pružinami	22
5. Vícekritériální analýza	24
5.1 Kritéria rozhodování	24
5.2 Stupnice hodnocení jednotlivých kritérií	24
5.3 Ohodnocení kritérií	25
5.4 Váha významnosti jednotlivých kritérií	25
5.5 Výsledky hodnotové analýzy	26
6. Detailní řešení varianty 1B	27

6.1	Pásky	27
6.1.1	Článek pásu	28
6.1.2	Čep pásu	29
6.2	Řemenice hnací	30
6.3	Řemenice vodící	33
6.4	Řemenice kyvná	35
6.5	Řemenice napínací	38
7.	Montáž napínacího ústrojí	40
7.1	Montážní krok č.1	40
7.2	Montážní krok č.2	41
7.3	Montážní krok č.3	42
8.	Bezpečnostní prvky pásové jednotky	43
9.	Technickoeconomické zhodnocení	44
10.	Závěr	46
11.	Seznam použité literatury a zdrojů	48
12.	Seznam příloh	50

Seznam použitého značení

Značka	Význam	Jednotka
B	šířka zubů	[mm]
D	velký průměr závitu matice	[mm]
D_1	střední průměr závitu matice	[mm]
D_2	střední průměr závitu matice	[mm]
D_3	střední průměr závitu matice	[mm]
D_4	velký průměr drážkování v náboji	[mm]
D_f	průměr vodícího pouzdra	[mm]
D_s	průměr vodícího trnu	[mm]
$D_{stř}$	střední průměr drážkování náboje	[mm]
E	modul pružnosti v ohybu	[GPa]
F_o	obvodová síla	[N]
F_1	tahová síla v pásu	[N]
F_2	síla vyvinutá pružinou	[N]
F_3	síla na bok zubu drážkování	[N]
F_N	napínací síla	[N]
F_{TZ}	tečná síla ve stavěcím šroubu	[N]
G	modul pružnosti ve smyku	[GPa]
L_o	délka pružiny ve volném stavu	[mm]
M_o	ohybový moment	[Nm]
M_k	krouticí moment	[Mm]
M_{TZ}	krouticí moment stavěcího šroubu	[Mm]

N	počet zubů	[-]
P	výkon elektromotoru	[kW]
R_e	mez kluzu	[MPa]
W_o	modul průřezu v ohybu	[mm ³]
W_k	modul průřezu v krutu	[mm ³]
b	šířka drátu pružiny	[mm]
d	průměr závitu šroub	[mm]
d_1	malý průměr čepu pásu	[mm]
d_2	střední průměr závitu šroubu	[mm]
d_3	malý průměr závitu šroubu	[mm]
d_4	malý průměr drážkování v náboji	[mm]
f	sražení	[mm]
h	výška drátu pružiny	[mm]
k_B	součinitel bezpečnosti tahu pásu	[-]
k_o	součinitel bezpečnosti napínací síly	[-]
k	součinitel bezpečnosti	[-]
l	délka kontaktní plochy čepu pásu	[mm]
l_1	délka ohybového ramene čepu	[mm]
n	počet činných závitů pružiny	[-]
p_v	měrný tlak čepu pásu	[MPa]
p_d	dovolený měrný tlak	[MPa]
s	stlačení pružiny	[mm]
v	rychlost robotu	[m/s]

z	výška matice	[mm]
σ_o	ohybové napětí	[MPa]
σ_{red}	redukované napětí	[MPa]
σ_{pt}	dovolené ohybové napětí	[MPa]
σ_D	dovolené ohybové napětí	[MPa]
τ_k	smykové napětí	[MPa]
τ_{kd}	dovolené smykové napětí	[MPa]
ε	poměr šířky/výšky drátu pružiny	[-]
ψ	úhel stoupání závitu	[°]
φ	třecí redukovaný úhel	[°]

1. Úvod

Práce se zabývá návrhem vhodného lokomočního ústrojí robotu ARES, s možností využití stávajících dílů.

Robot ARES je univerzální robot s pásovým podvozkem, který byl vyvinut Katedrou robotiky. Robot je určen pro pohyb ve ztížených podmínkách, umožňuje i pohyb po schodištích. Jeho rozměry jsou 1253 x 731 x 810 mm (délka x šířka x výška).

Robot opatřen několika moduly jako je manipulační nástavba, zásobník na odebrané vzorky, efekторы pro odběr vzorků různého skupenství atd.

V roce 2010, kdy byl robot uveden do provozu, byl vybaven vodním rozstřelovačem určeným pro zneškodňování výbušnin, v následujícím roce byl pak modulární systém rozšířen o manipulační nástavbu pro odběr vzorků tekutin.

Cílem této bakalářské je vytvoření funkčního návrhu řešení s ohledem využití některých stávajících komponent. Hlavní cílem je zhotovení řešení, které zajistí nemožnost vyzutí pásů a umožní snadnou údržbu s ohledem na cenu a proveditelnost. Zabezpečení bezpečnosti provozu robotu ARES za pomoci krytování lokomočního ústrojí.

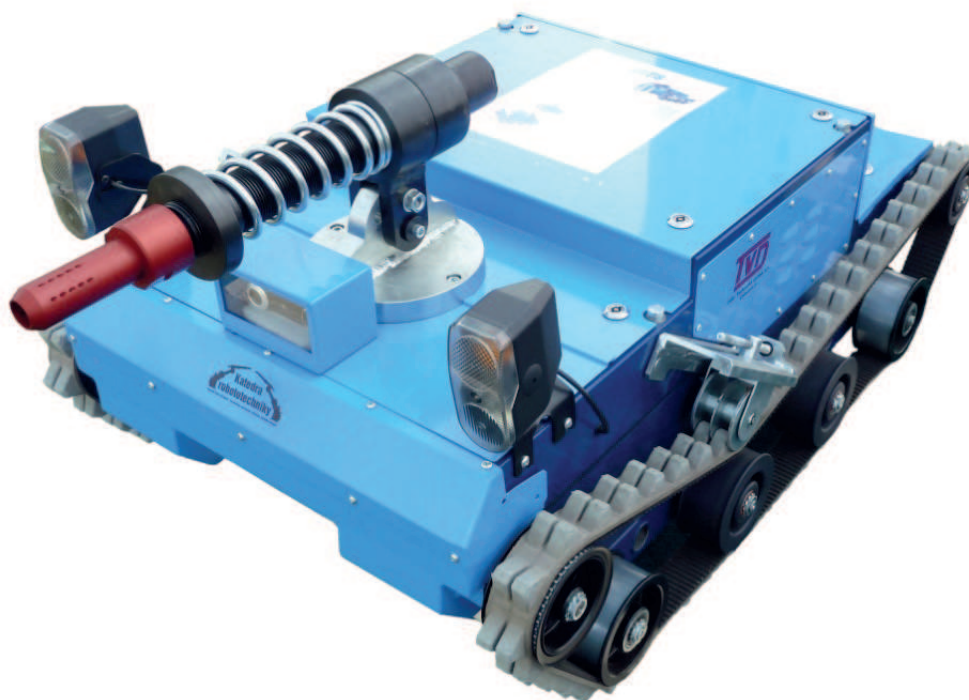
2. Servisní roboty s pásovým lokomočním ústrojím

Roboty s pásovým lokomočním ústrojím mají široké spektrum uplatnění pro konkrétní aplikace. Dají se využít v mnoha oblastech, jako je vojenská technika, zdravotnictví, bezpečnostní složky a mnoho dalších. Podle konkrétní aplikace v dané oblasti se budou odvíjet požadavky na konstrukci a speciální požadavky na nástavbové moduly a jejich upevnění. [1]

2.1 Popis stávajícího provedení robotu ARES

Robot ARES je dálkově ovládaný robot, určený pro pohyb na souši s možností překonávání i velmi náročných terénů. Jeho pásové jednotky jsou zkonstruovány pro pohyb do schodů (tzv. Schodolezy).

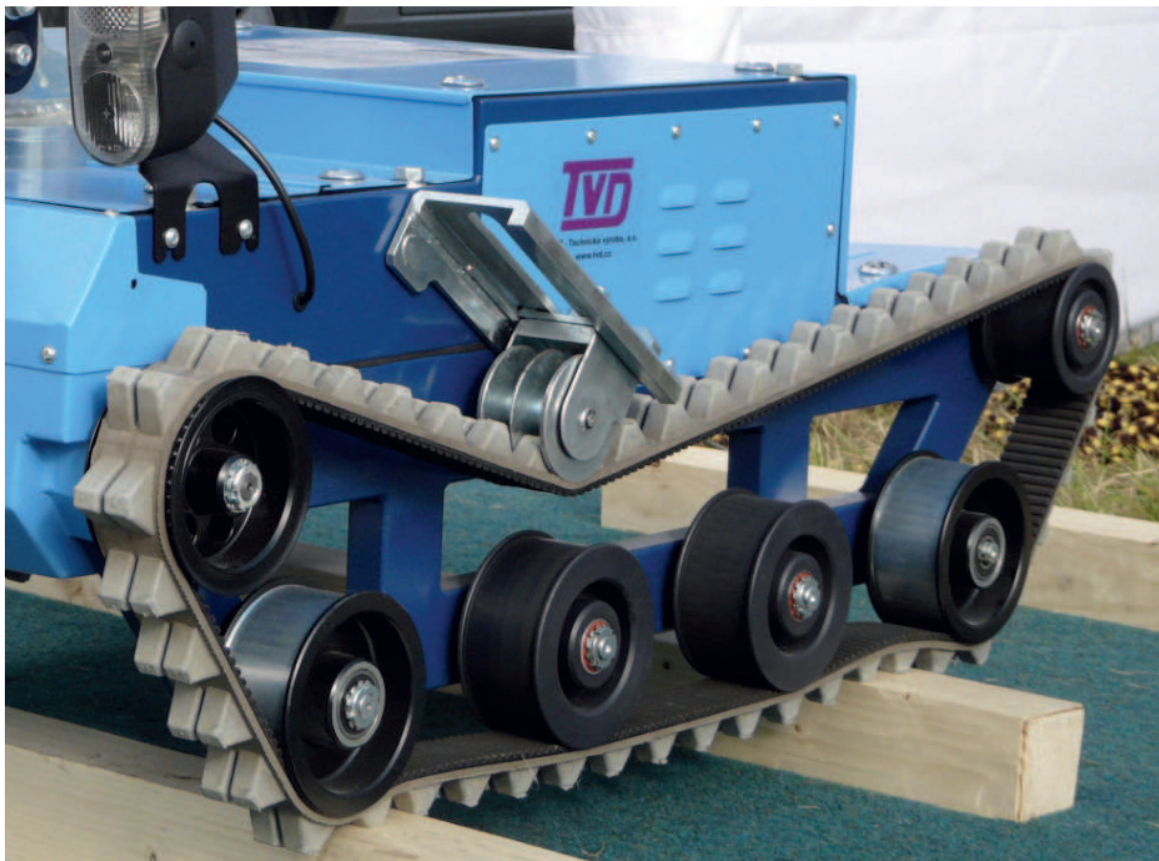
Mohutný a tuhý rám je svařen ze čtvercových profilů (Jöckel), které jsou opatřeny povrchovým nátěrem. Pohyb robotu umožňuje převodovka VARVEL spolu se stejnosměrným motorem AMER, které přenáší kroutící moment na hnací řemenici, umístěnou v přední části podvozku robotu. Všechny řemenice lokomočního ústrojí jsou opatřeny bočnicemi, aby bylo zabráněno možnému vyzutí pásu v průběhu pohybu robotu. [5]



Obr. 1 Robot ARES

2.2 Analýza problematiky řešení lokomočního ústrojí

Robot ARES byl zhotoven na základě diplomové práce Bc. Marka Studénky, která se zabývala konstrukcí pásového podvozku s proměnnou kinematikou rámu. Toto řešení nakonec nebylo realizováno a zhotovila se varianta, kterou lze vidět na obrázku 1. [5]



Obr. 2 Stávající řešení lokomočního ústrojí

Problémy se stávajícím provedením robotu jsou následující:

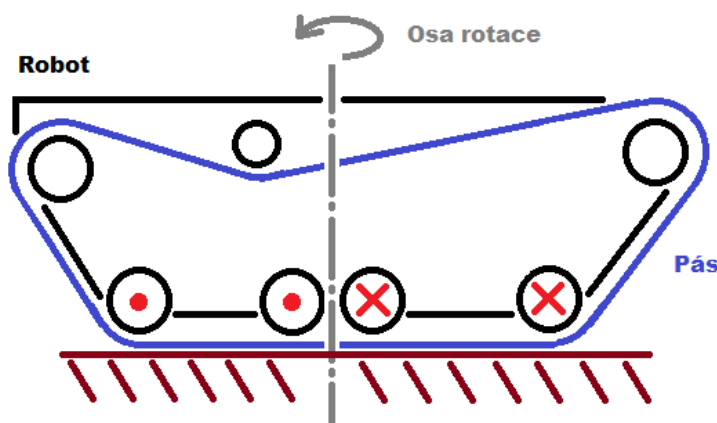
- uvolňování pásu
- zouvání pásů na betonovém podkladu
- zhoršená schopnost pohybu v bahnitém terénu
- bezpečnost zařízení
- životnost pásu
- tuhost podvozku

2.2.1 Uvolňování pásu

Tento jev vzniká nejčastěji nedostatečným napínáním pásové jednotky v průběhu jízdy robotu. Během jízdy je podvozek zatížen rázy, vibracemi a dalšími nepříznivými jevy. Toto zatížení se přenáší do konstrukce robotu a vlivem vzniklých napětí dochází k deformacím, kdy se mění geometrické vlastnosti jednotlivých dílů. Pro tyto případy se nejčastěji využívá pružného napínacího elementu, který kompenzuje tyto nepříznivé účinky a zaručuje stálou trajektorii pásu. [6]

2.2.2 Zouvání pásů na betonovém podkladu

Za předpokladu, že osa rotace se nachází uprostřed robotu a robot kolem této osy koná otáčivý pohyb, budou ve stykových bodech mezi robotem a vozovkou vznikat momenty, které budou zatěžovat pás. Tyto moment musí konstrukce pásu zachytit nebo dojde k jeho deformaci a následnému vyzutí. [6, 15]



Obr. 3 Osa rotace při zatáčení robotu

Červené body na obrázku znázorňují směr pohybu pásů robotu. Ve stykových bodech s vozovkou budou vznikat silové účinky od třecí síly mezi pásem a vozovkou. Výsledné momentové účinky budou působit v těchto bodech proti směru rotace robotu. Za předpokladu, že pás je zhotoven z pryže a robot se pohybuje po betonovém podkladu, je koeficient tření mezi těmito materiály $f = 0,85$. [8]

2.2.3 Zhoršená schopnost pohybu v bahnitém terénu

Z důvodu zouvání pásů byly zvětšeny průměry bočnic řemenic. Tento konstrukční krok zamezil zouvání pásů. Zvýšením bočnic řemeni byl snížen funkční profil řemenového pásu, toto má za následek horší jízdní vlastnosti v bahnitém a velmi náročném terénu.

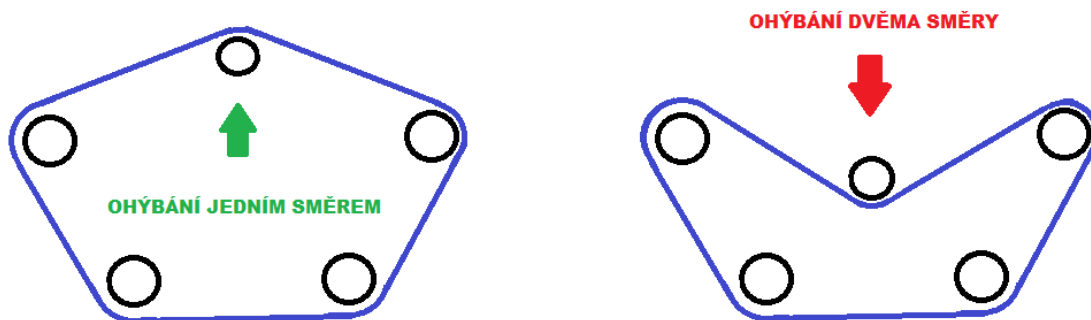
2.2.4 Bezpečnost zařízení

Podvozek robotu je opatřen levou a pravou pásovou jednotkou. Každá z těchto jednotek se skládá z jedné hnací řemenice a pěti řemenic vodících. Součástí je i napínací element, který je pouze statický. Všechny řemenice jsou uloženy pevně. V provozu robotu jsou obě pásové jednotky volně přístupné a je zde možnost poranění o rotující části lokomočního ústrojí, jako je řemen a řemenice.

2.2.5 Životnost pásu

Lokomoční ústrojí robotu využívá řemenový pás viz obr 2. Tento pás je napínán pomocí statického napínacího elementu. U napínání řemenu máme dvě možnosti napínání.

- Vlákna lámeme pouze v jednom směru
- Vlákna lámeme ve dvou směrech



Obr. 4 Směr napínání pásů

U napínání v pouze jednom směru, lze předpokládat vysoká životnost pásu. Varianta druhá, kdy je pás lámán ve dvou směrech, snižuje se životnost řemenu až na jednu třetinu jeho celkové životnosti. Proto, pokud to není nutné, je z hlediska životnosti lepší se tomuto konstrukčnímu řešení vyvarovat. [16]

2.2.6 Tuhost podvozku

Tuhost a kinematika podvozku robotu ARES, byla v diplomové práci Bc. Marka Studénky zpracována s proměnlivou trajektorií pásu. Což umožňovalo velké spektrum využití. Nyní je pás velice tuhý a neumožňuje změnu trajektorie z důvodu pevného uložení všech řemenic. Toto konstrukční řešení neumožňuje přizpůsobení podvozku trajektorii terénu, dochází ke zhoršení jízdních vlastností v náročnějším terénu. [5]

2.3 Alternativní řešení podvozku robotu ARES

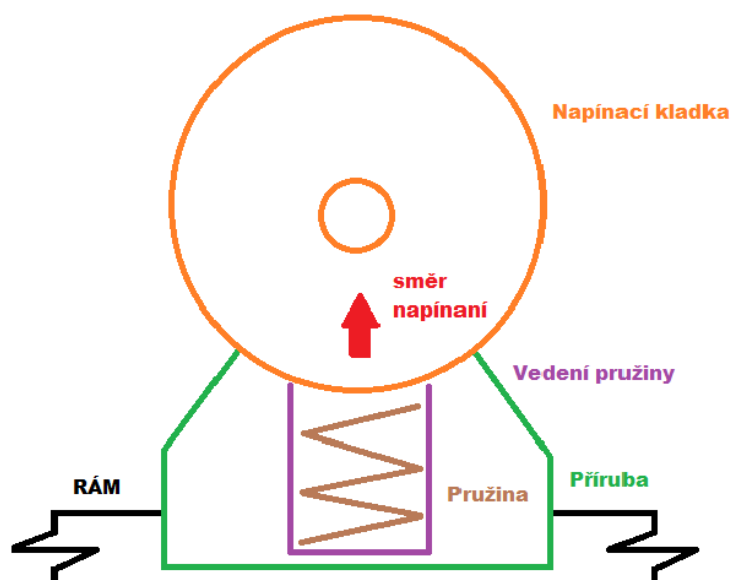
Stávající řešení podvozku robotu ARES lze zlepšit pomocí několika úprav. Jednou z nich je integrace nového způsobu napínání, které bude dynamicky reagovat na provozní podmínky robotu. Druhy napínání řemenu lze provést několika způsoby:

- mechanicky (pružinou)
- pneumaticky (pneumatický tlumič)
- hydraulicky (hydraulický píst)

Spolu se změnou způsobu napínání je potřeba brát v úvahu profil pásu. Stávající stav je navržen tak, aby mohl zdolávat schody, jako je tomu u servisních robotů tzv. Schodolezů. Tyto roboty však byly vyvinuty pouze pro přímočarý pohyb. Při rotaci robotu ARES dochází k velkým silovým účinkům, které musí být zachyceny nebo dojde k deformaci pásu a následnému vyzutí. [1]

2.3.1 Mechanické napínání

Mechanické napínání pružinou je jedno z nejlevnějších a zároveň nejspolehlivějších řešení. Nevýhodou tohoto návrhu, je v celku složitá konstrukce napínací sestavy, kde budou integrovány pružiny.



Obr. 5 Schéma napínání pomocí pružiny

2.3.2 Pneumatické napínání

Použití pneumatického píst zjednoduší celou konstrukci uchycení a vedení. Píst lze dobře nastavit, aby byl schopen plynule redukovat vzniklé výchylky. U pneumatického pístu je limitní jeho zdvih, je potřeba počítat s možnými ztrátami tlaku vzduchu. v poslední řadě, pořizovací cena je několika násobně vyšší než je tomu u pružiny.



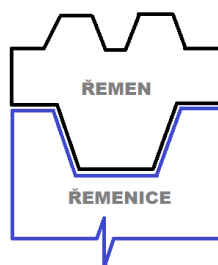
Obr. 6 Pneumatický tlumič (výrobce fox) [15]

2.3.3 Hydraulické napínání

Hydraulický píst je obdobou pneumatických tlumičů. Výhodou je schopnost velice dobře redukovat změny, plynule a bez ztrát. Nevýhodami jsou velmi vysoká pořizovací cena. Náročná údržba a provoz. Pro toto provedení je to nejméně vhodná varianta na zlepšení.

2.3.4 Profil pásu

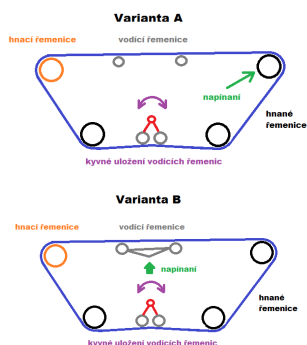
Pro zachycení silových účinků je potřeba robot opatřit takovými pásy, které budou umožňovat pohyb všemi směry. Jeden z požadavků je na konstrukci pásu je zachycení silových účinků při rotaci robotu. Profil na Obr. 7 umožní pomocí tvarového styku tyto síly zachytit.



Obr. 7 Profil řemenového pásu

3. Požadavkový list

Požadavkový list	
Zadavatel	Ing. Matěj Gala
Řešitel	Tomáš Vlček
Uživatel	VŠB TUO FS - Katedra robotiky
Servisní robot ARES - optimalizace podvozku - Obecné požadavky	
Druh provedení podvozku	Pásy
Způsob užívání robotu	Náročný terén (outdoor), zdolávání schodišť.
Operační a pracovní prostředí	Kluzké, drsné, nerovnoměrné, bahnité, strmé povrchy.
Technický scénář	Stávající provedení pásového podvozku robotu ARES.
Hlavní funkce	Pásový podvozek umožňuje mobilitu celého zařízení.
Technické parametry	Nosnost podvozku 180 kg, rychlost 3km/hod, průjezdná šířka podvozku 800mm (min), překonání překážky o výšce 250mm, max. sklon nerovnosti 35°, možnost dekontaminace, nízká hlučnost podvozku.
Požadavky na provedení podvozku robotu ARES - provedení	
Identifikační údaje	Optimalizaci pásového podvozku za možného použití stávajících dílů.
Náčrt	Řešení pásové jednotky pomocí článkového provedení. Dvě varianty provedení napínání pásu viz níže spolu s využitím vodících řemenic. Návrh prototypu článku pásu

	
Technické parametry	Provedení spolehlivějšího způsobu napínání pásové jednotky robotu ARES. Volba typu pásu, optimalizace řemenic, optimalizace způsobu přenosu kroutícího momentu na pásy, optimalizace koncepčního provedení podvozku robotu ARES s využitím vodících řemenic.
Materiálová charakteristika	Provedení typu pásu - ocel, hliník, plast, popřípadě kompozitní materiál pro nejlepší využití. Jedním z hlavních parametrů bude cenová náročnost řešení, dostupnost, mech. vlastnosti.
Provoz robotu	Pohon pomocí šnekové převodovky a stejnosměrného motoru. Napájení pomocí baterie. Náročné prostředí, pro časté použití. Požadovaná střední životnost pásového modulu s možností lehké výměny opotřebovaných dílů.
Vzhled	Povrch přizpůsobit stávajícímu provedení robotu s možností lehké údržby.
Předpisy a normy (bezpečnost)	Bez porušení patentových práv, dodržení všech bezpečnostních předpisů spojených s konstrukcí pásových jednotek.
Výroba	Prototyp, popřípadě malá série.

Tab. 1 Požadavkový list

Požadavkový list byl zpracován na základě doposud známých parametrů robotu, zkušeností s konstrukcí obdobných zařízení a v poslední řadě, z požadavků na zlepšení jízdních vlastností robotu ARES. [5, 15]

4. Možné varianty provedení

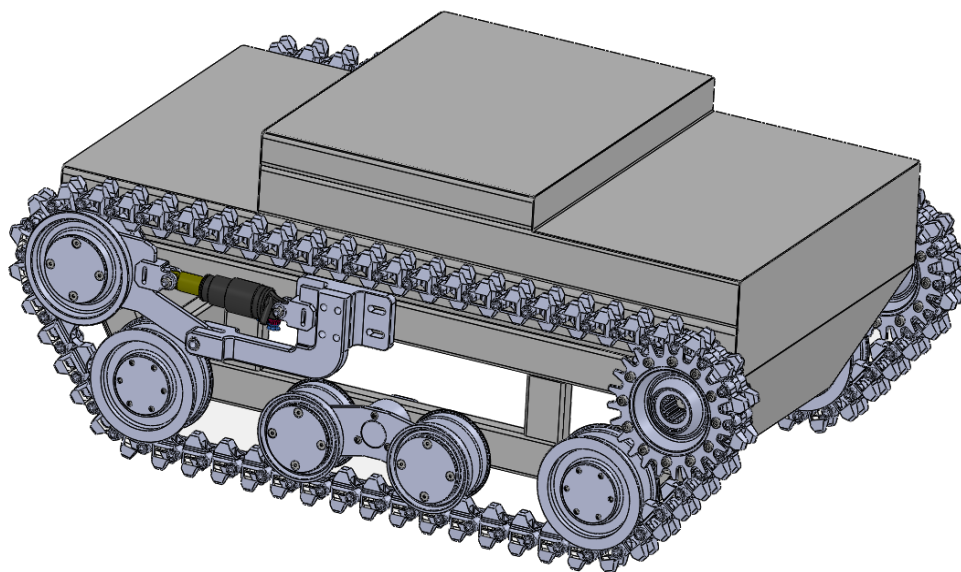
Z požadavků na konstrukci byly zpracovány čtyři varianty možného provedení, hlavní požadavek provedení je pásové lokomoční ústrojí. Napínání pásů je provedeno pružinou nebo pneumatickým válcem.

4.1 Varianty provedení s pneumatickým pístem

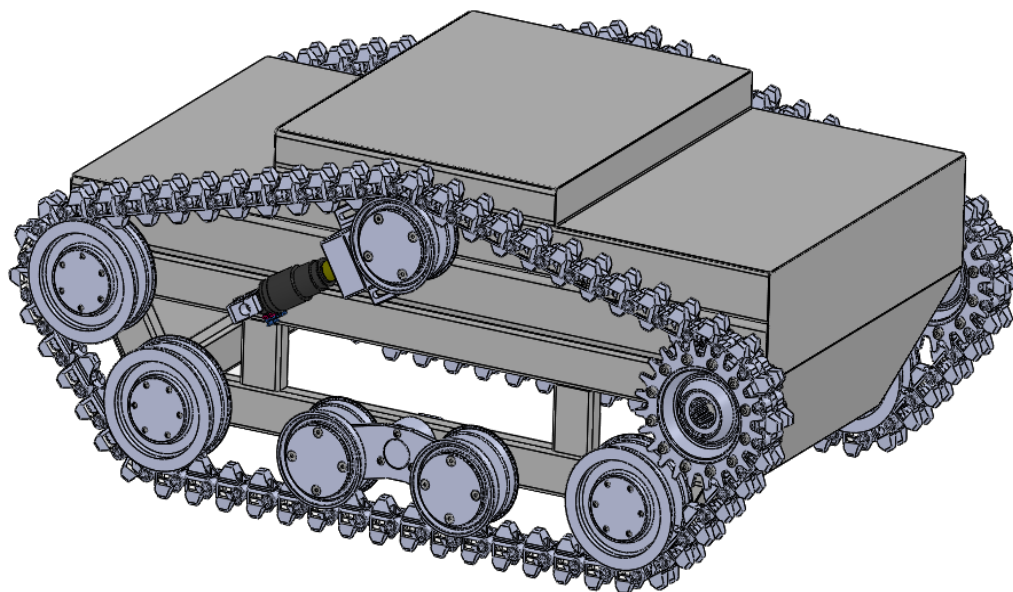
Varianta provedení 1A a 2A pro napínání pásů využívají sílu generovanou pneumatickým pístem. Tento píst je u každé varianty umístěn v jiné části lokomočního ústrojí. Každé lokomoční ústrojí se skládá ze dvou pásových jednotek, které jsou symetrické. Tyto jednotky obsahují následující podsestavy.

- řemenice hnací
- řemenice vodící
- řemenice kyvné
- řemenice napínací

Hnací řemenice je uložena v přední části robotu. Je opatřena dvěma věnci, které unášejí články pásu. Pásky jsou propojeny čepy. Napínání pásu je realizováno pomocí pneumatického pístu.



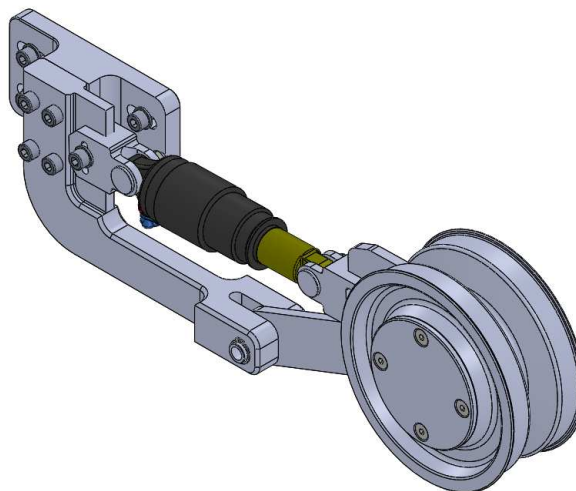
Obr. 8 Varianta 1A



Obr. 9 Varianta 2A

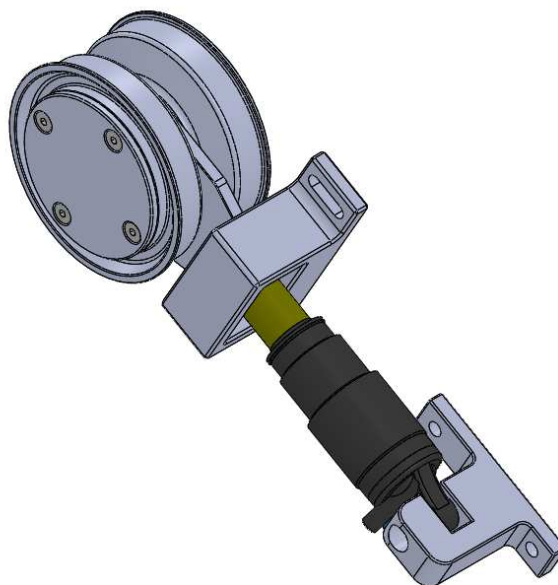
Na Obr. 8 je znázorněna varianta napínání ve vodorovném směru (varianta 1A). Oproti stávajícímu stavu zde není zachováno umístění všech řemenic pevně. Napínací řemenice, která je uložena na kyvném rameni se nachází v zadní části lokomočního ústrojí robotu. Pomocí pneumatického pístu dopíná pás během jízdy robotu. [15]

Varianty 2A Obr. 9, zachovává koncept stávajícího řešení. Všechny řemenice jsou uloženy pevně a napínací člen umístěn ve střední části pásové jednotky.



Obr. 10 Napínání varianty 1A

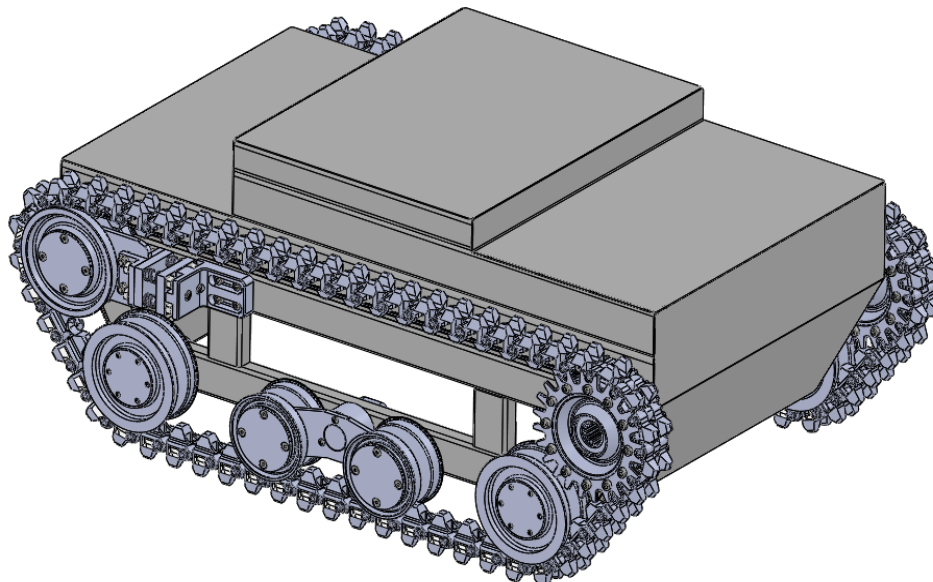
Na Obr. 10 lze vidět detail napínání koncepčního provedení lokomočního ústrojí robotu. Pneumatický píst je uložen mezi přírubou a napínací řemenicí. Svým zdvihem kompenzuje veškeré pružné deformace vznikající provozem robotu. U konstrukce napínání ve svislém směru je obdobná. Píst je uložen v lineárním vedení, koncem je uchycen pevně k rámu viz níže Obr. 11.



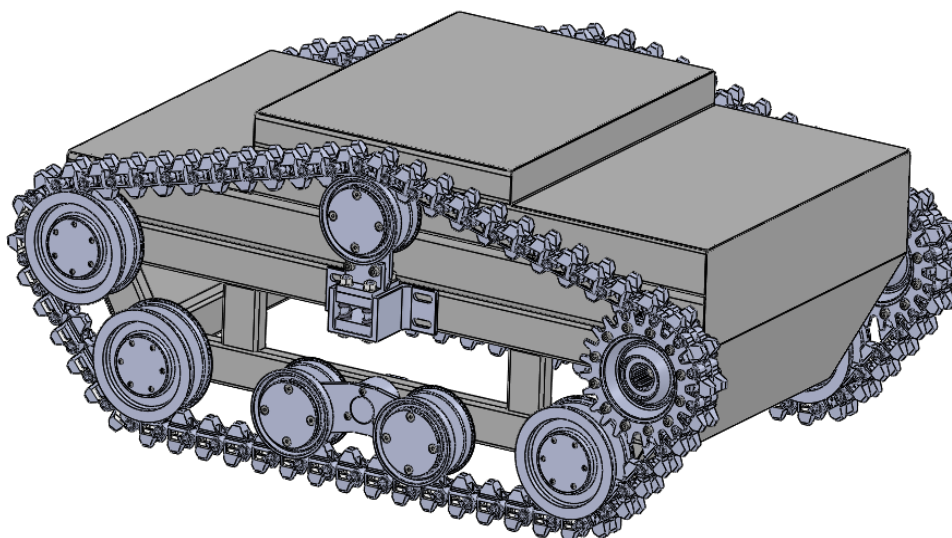
Obr. 11 Napínání varianty 2A

4.2 Varianty provedení s tlačnými pružinami

Koncepční provedení těchto variant je obdobné jako je tomu u variant s pneumatickým pístem. Pneumatický píst nahrazují tlačné pružiny, které jsou z hlediska ceny výhodnější a téměř bezúdržbové.

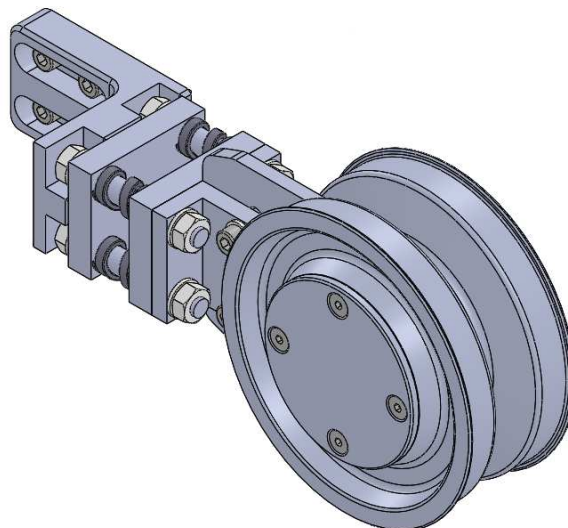


Obr. 12 Varianta 1B

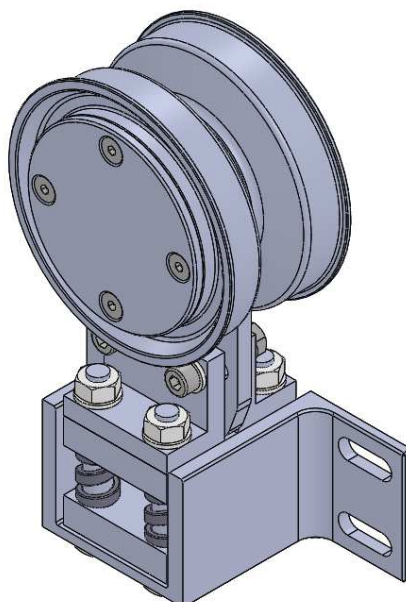


Obr. 13 Varianta 2B

Na Obr. 12 je znázorněno napínání ve vodorovné ose. Tlačné pružiny jsou uloženy v sestavě napínacích prvků, které jsou upevněny k rámu robotu viz níže Obr. 14. U Obr. 13 provedení napínání ve svislé ose, princip napínání je stejný jako u varianty 1B, odlišnost je pouze v umístění napínacího elementu. Detailnější pohled na sestavu napínání viz níže Obr. 15.



Obr. 14 Napínání varianty 1B



Obr. 15 Napínání varianty 2B

Pro další postup práce, budou tyto čtyři konstrukční varianty řešení posuzovány dle zadaných kritérií. Nevýhodnější varianta bude dále řešeno detailněji.

5. Vícekriteriální analýza

Pro zvolení nejvýhodnější varianty byla použita vícekriteriální analýza. Porovnání kritérií uvedených v požadavkovém listu a následné přiřazení důležitosti a váhy k jednotlivým kritériím. Varianta která získá největší sumu bodů, je označena za nejvýhodnější.

5.1 Kritéria rozhodování

Pro zvolení nejvýhodnější varianty bylo určeno osm kritérií k1 – k8. Kritéria jsou uvedeny v tab. 2 níže.

k1	Konstrukce
k2	Výroba
k3	Cena
k4	Životnost
k5	Funkce
k6	Hmotnost
k7	Bezpečnost
k8	Montáž
n	8

Tab. 2 Rozhodovací kritéria

5.2 Stupnice hodnocení jednotlivých kritérií

Hodnota jednotlivých kritérií byla zvolena vzestupně, kdy nejvyšší číslo přísluší nejvýhodnější variantě řešení.

Hodnocení	stupeň	známka
	výborné	4
	chválytebné	3
	dobré	2
	nevyhovující	1

Tab. 3 Hodnoty kritérií

5.3 Ohodnocení kritérií

Jednotlivé kritéria byla ohodnocena u každé varianty provedení lokomočního ústrojí. Hodnota kritéria náleží hodnotě viz Tab. 3

#	Kritérium	Varianta 1A	Varianta 2A	Varianta 1B	Varianta 2B
k1	Konstrukce	3	1	4	1
k2	Výroba	3	3	3	2
k3	Cena	2	2	4	2
k4	Životnost	2	2	3	3
k5	Funkce	2	2	3	3
k6	Hmotnost	2	1	2	1
k7	Bezpečnost	3	1	3	1
k8	Montáž	3	3	4	3

Tab. 4 Ohodnocení variant

5.4 Váha významnosti jednotlivých kritérií

Pomocí trojúhelníkové metody byly zhodnoceny jednotlivé parametry vůči sobě. Na základě počtu voleb kritérií byla určena váha jednotlivých kritérií..

Porovnávané páry kritérií							kritérium	počet voleb	váha kritéria
k1	k1	k1	k1	k1	k1	k1	1	4	0,14
k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8			
	k2	k2	k2	k2	k2	k2	2	5	0,18
	k3	k4	k5	k6	k7	k8	3	3	0,11
	k3	k3	k3	k3	k3	k3			
	k4	k5	k6	k7	k8		4	3	0,11
	k4	k4	k4	k4	k4				
	k5	k6	k7	k8			5	7	0,25
		k5	k5	k5					
		k6	k7	k8			6	0	0,00
			k6	k6					
			k7	k8			7	4	0,14
				k7					
				k8			8	2	0,07

Tab. 5 Trojúhelníková metoda

5.5 Výsledky hodnotové analýzy

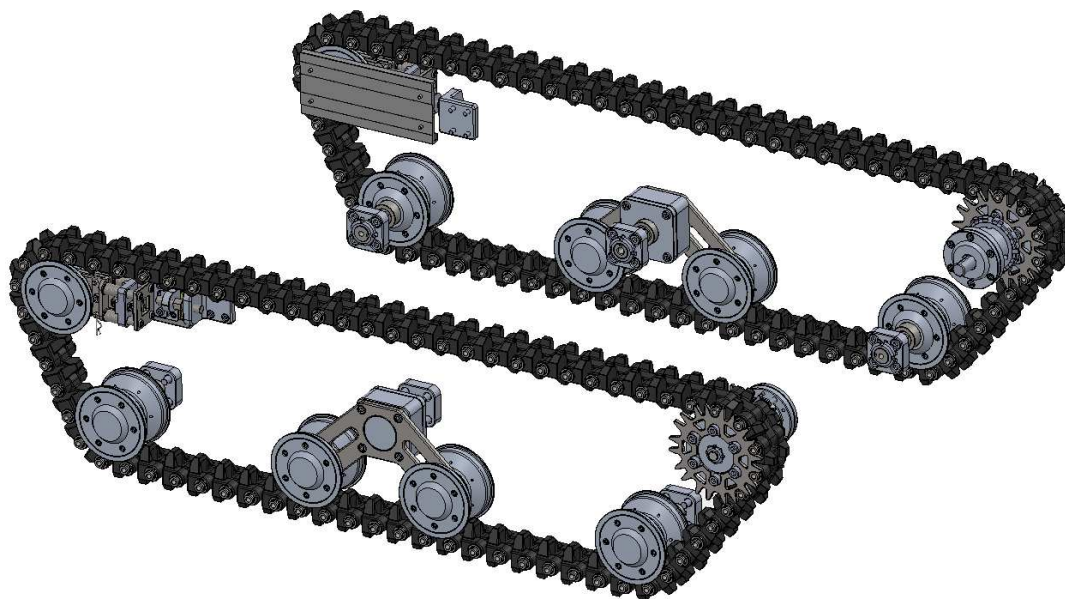
#	Kritérium	Varianta 1A	Varianta 2A	Varianta 1B	Varianta 2B
k1	Konstrukce	0,43	0,14	0,57	0,14
k2	Výroba	0,54	0,54	0,54	0,36
k3	Cena	0,21	0,21	0,43	0,21
k4	Životnost	0,21	0,21	0,32	0,32
k5	Funkce	0,50	0,50	0,75	0,75
k6	Hmotnost	0,00	0,00	0,00	0,00
k7	Bezpečnost	0,43	0,14	0,43	0,14
k8	Montáž	0,21	0,21	0,29	0,21
výsledek		2,54	1,96	3,32	2,14
pořadí		2	4	1	3

Tab. 6 Vyhodnocení variant

Nejvýhodnější varianta (viz. Obr. 12) je varianta 1B, která je zaznačena zeleně. Tato varianta bude v následujících krocích řešena detailněji, jak z hlediska konstrukce, tak i ceny a dalších jiných požadavků.

6. Detailní řešení varianty 1B

Pomocí vícekritériální analýzy byla zvolena varianta řešení lokomočního ústrojí robotu ARES. V následující kapitolách budou rozebrány jednotlivé části (sestavy) tohoto lokomočního ústrojí.



Obr. 16 Lokomoční ústrojí robotu Ares

6.1 Pásky

Jednou z hlavních částí tohoto lokomočního ústrojí jsou pásky. Pásky jsou článkové. Propojení jednotlivých článků je zajištěno pomocí čepu, které se skládají z dvou částí, které jsou do sebe zalisovány.

6.1.1 Článek pásu

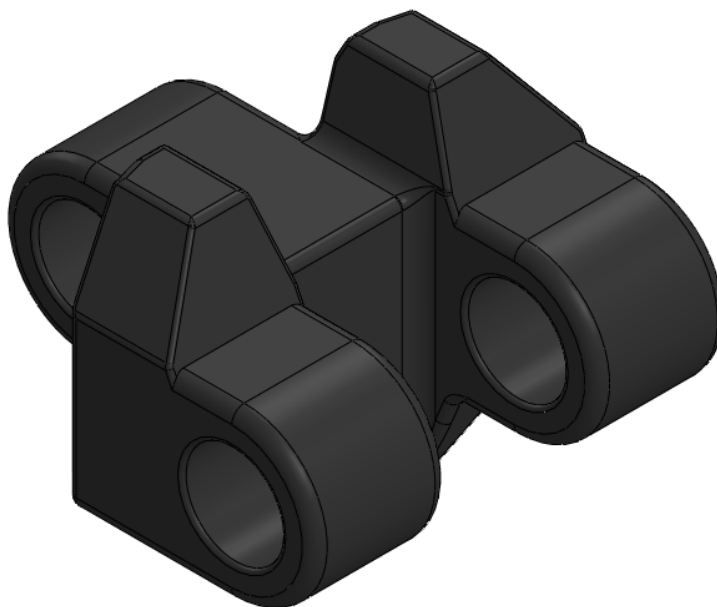
Článek pásu je velmi důležitou součástí lokomočního ústrojí. Jeho mechanické vlastnosti, geometrický tvar a jiné vlastnosti mohou příznivě či nepříznivě ovlivnit jízdní vlastnosti robotu.

V tomto konstrukčním záměru zvažujeme několik možných provedení článků pásu.

- ocelové články pásů
- hliníkové články pásů
- plastové články pásů

Z hlediska ceny, hmotnosti byla zvolena varianta plastových článků pásů. Doporučený materiál bude zvolen dle aplikace, ceny, dostupnosti, PA nebo Polypropylen. [15, 14]

Plastový materiál článků pásů je možné vstřikovat do formy, která může být zhotovena z pryskyřice, hliníku nebo oceli. Čím pevnější materiál, tím dražší vstřikovací forma, ale tím vyšší životnost formy. Další technologií výroby článku je třískové obrábění. Na základě poptávky bude určeno, která technologie bude zvolena. [15, 14]



Obr. 17 Článek pásu

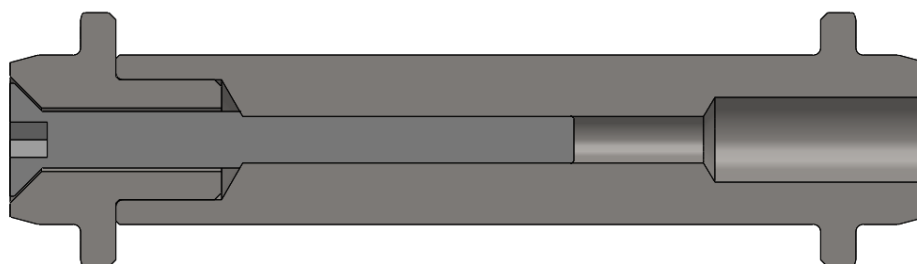
6.1.2 Čep pásu

Čepy pásu slouží ke spojení jednotlivých článků pásu. Čep musí být navržen tak, aby odolal vnějšímu prostředí, unesl požadované zatížení a v poslední řadě zajistil bezpečnost pásu (tzn. nedojde k rozpojení pásu během jízdy).



Obr. 18 Schéma spojení čepu a hlavy

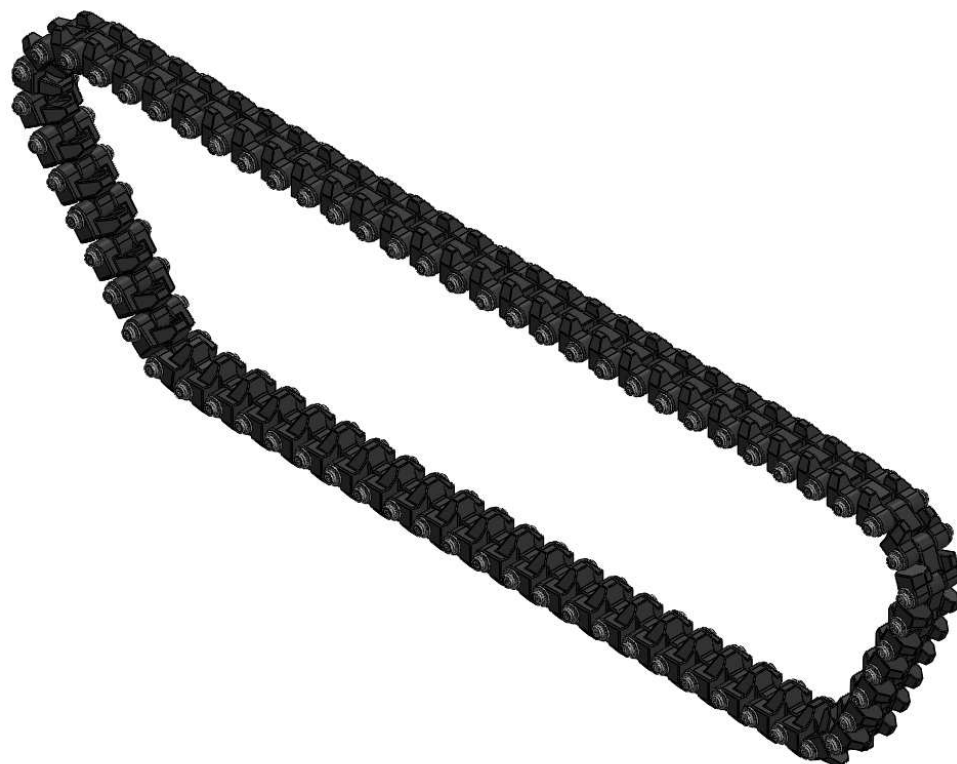
Na Obr. 18 lze vidět smontovaný stav čepu pásu s tzv. hlavou. Dohromady tyto dvě komponenty tvoří celek, který lze rozebrat.



Obr. 19 Řez spojení čepu a hlavy

Na Obr. 19 se nachází schéma uložení čepu pásu s hlavou. Hlava se lisuje do náboje čepu z levé strany. Pojištění proti pootočení hlavy vůči čepu zjišťuje rádlování na vnějším průměru hlavy. Celou sestavu pojistíme proti povysunutí pomocí šroubu M4x40 DIN 7991 A4. Materiál čepu a hlavy je ČSN 10088-11.4301 (X5CrNi18-00). [2, 15]

Složení všech článků a čepu vznikne celistvý pás viz níže.



Obr. 20 Článkový pás

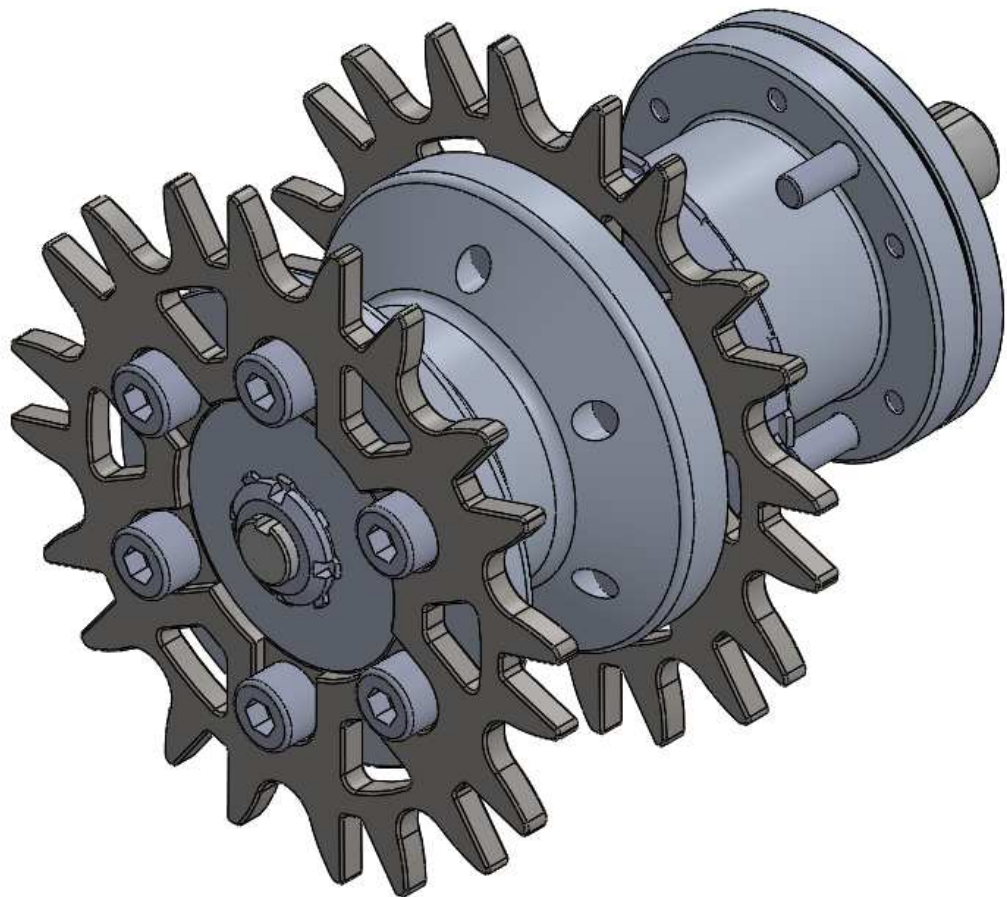
6.2 Řemenice hnací

Řemenice hnací se určena k přenosu výstupní krouticího momentu z převodovky na pásy robotu. Řemenice může být zhotovena se slitin hliníku.

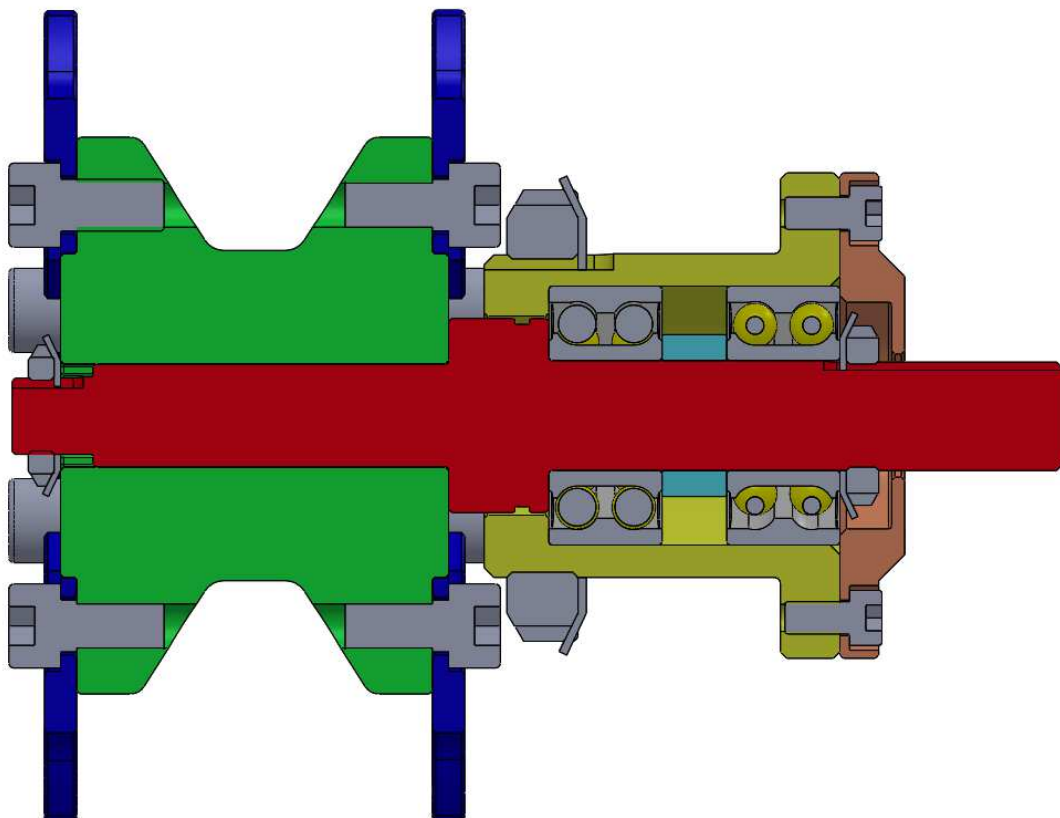
- EN AW-6060
- EN AW-6061
- EN AW-6063
- EN AW-7020

Hliník je zvolen primárně kvůli jeho menší hmotnosti, která je přibližně tři krát menší než u oceli. Hustota hliníku $\rho_{al} = 2700 \text{ Kgm}^{-3}$, hustota oceli $\rho_{oc} = 7850 \text{ Kgm}^{-3}$. Řemenice je opatřena normalizovaným rovnobokým drážkováním pro přenos krouticího momentu. Čela řemenice jsou osazeny dvěma nerezovými věnci, které unášejí články pásu v průběhu

Věnce jsou přichyceny k řemenici pomocí dvanácti šroubů M8x16 DIN 912 A4. Kvůli přesnému ustavení drážek věnců vůči sobě, budou věnce na řemenici v průběhu montáže ustaveny pomocí kolíků. (min. tři). Hnací hřídel, který prochází řemenicí je opatřen negativem rovnobokého drážkování, které je v náboji řemenice. Hřídel je zajištěn pomocí MB podložky a KM matice. Celá sestava je uchycena do rámu robotu pomocí domku. Na Obr. 22 níže je zobrazen řez hnací řemenicí. [1, 9, 7, 10,12, 13, 15]



Obr. 21 Hnací řemenice



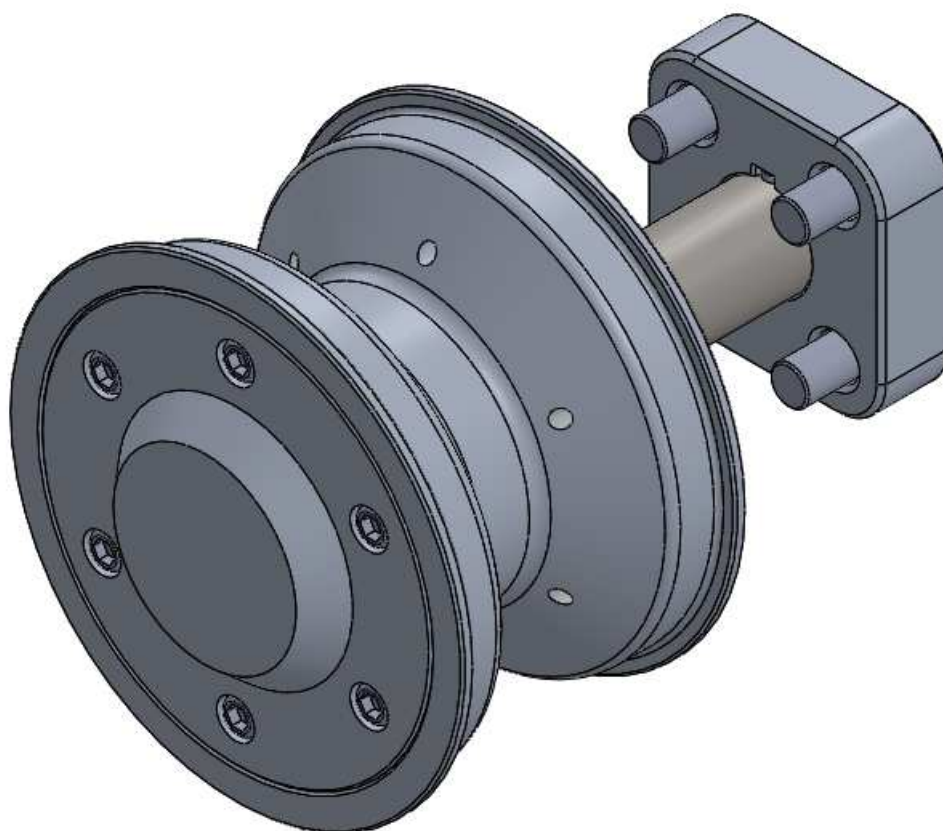
Obr. 22 Řez hnací řemenicí

- zelená - řemenice
- modrá - věnec
- žlutá - domek
- červená - hnací hřídel
- oranžová - víko
- tyrkysová - distanční kroužek

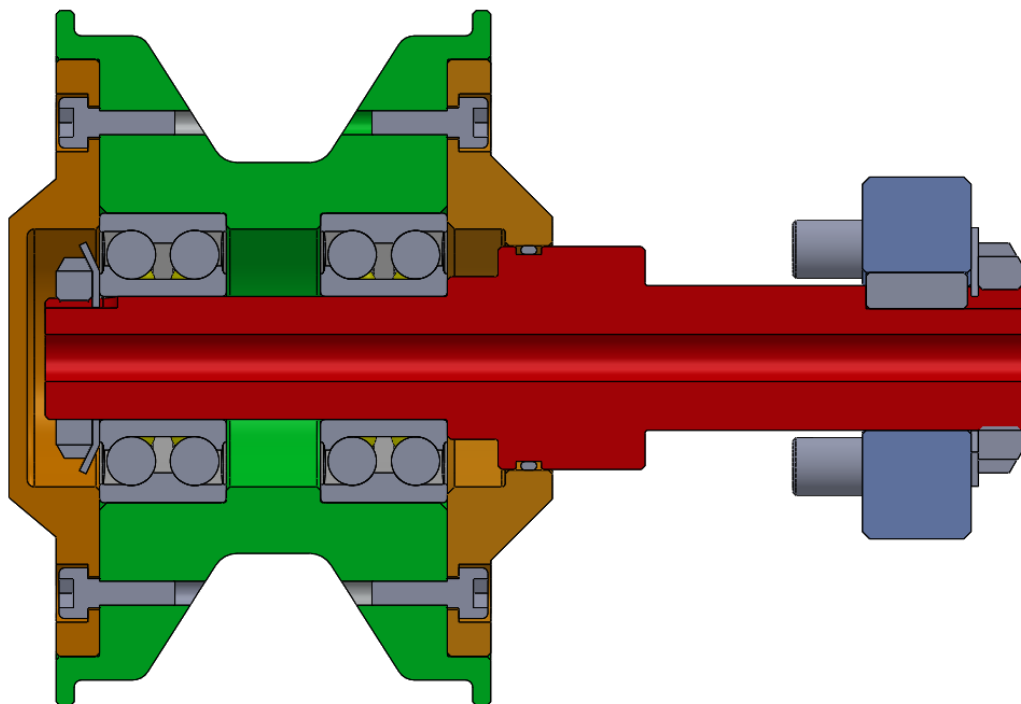
Normalizované díly jsou znázorněny šedou barvou. (šrouby, MB podložky, KM matice, ložiska, o-kroužek)

6.3 Řemenice vodící

Vodící řemenice se v lokomočním ústrojí nacházejí dvě. Jsou umístěny ve spodní části ústrojí a slouží k vedení správné trajektorie pásu. Tyto dvě řemenice přenášejí zatížení z rámu robota na pás a následně pak na vozovku. Řemenice vodící je vyrobena z jednoho kusu na rozdíl od řemenice kyvné a řemenice napínací. Tyto řemenice jsou půlené, důvod pro tento konstrukční záměr je dodržení požadovaných maximálních rozměrů robota ARES.



Obr. 23 Vodící řemenice



Obr. 24 Řez vodící řemenicí

- zelená - řemenice
- modrá - deska
- červená - hřídel
- oranžová - víko

Na Obr. 24 výše lze vidět konstrukční celek řemenice vodící v řezu. Řemenice je uchycena k rámu robotu pomocí hřídele a desky. Hřídel je vsunuta do vložky v rámu z leva. Z druhé strany zajištěna pomocí desky, která je přišroubována k rámu robotu.

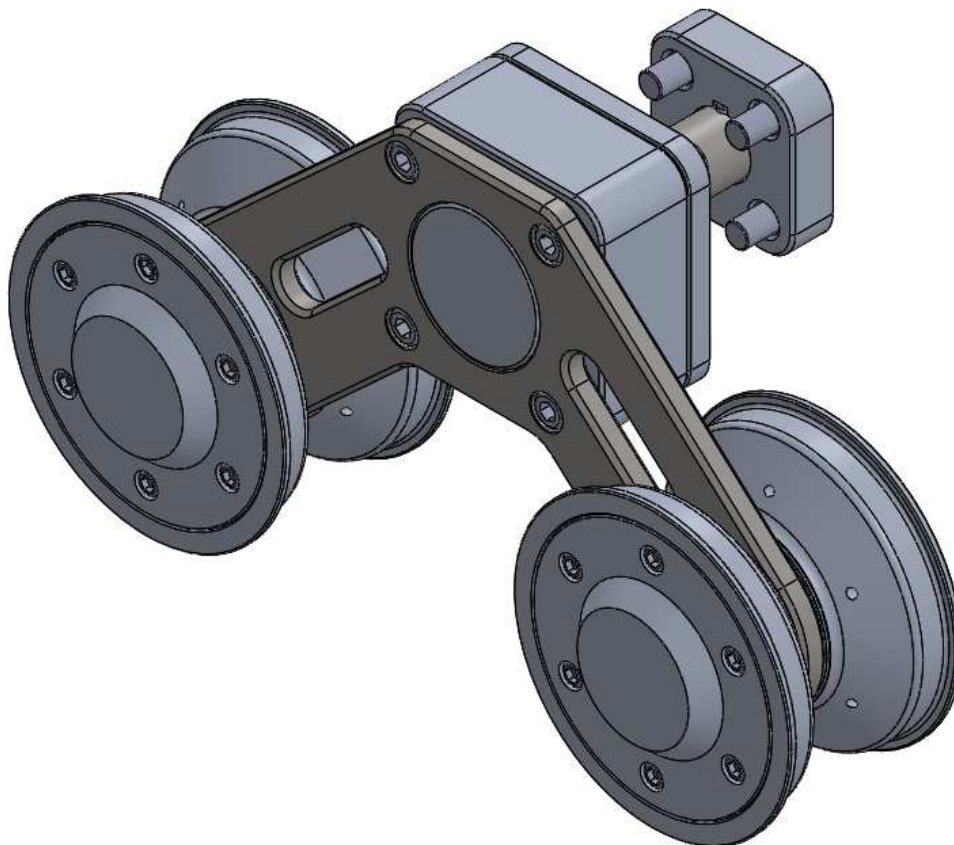
Řemenice, víka a deska jsou zhotoveny jedné ze slitiny hliníku, jako je tomu u hnací řemenice. (EN AW-6060, EN AW-6061, EN AW-6063, EN AW-7020)

Hřídel, který je dutý z hlediska úspory hmotnosti je vyroben z nerezové oceli ČSN 10088-11.4301 (X5CrNi18-00).

Při montáži je potřeba nejdříve ložiska zalisovat do řemenice. Ložiska SKF 3203 A-2ZTN9 byly zvoleny dle stávajícího řešení robotu. Poté je nasunut hřídel z pravé strany, který je z leva zajištěn pomocí MB podložky a KM matice (zajištění proti pootočení a následnému uvolnění spoje). Vnější kroužky ložisek se stáhnou pomocí vík. K dosažení těsnosti celého celku je hřídel opatřen drážkou pro O-kroužek. (materiál O-kroužku NBR nebo EPDM, dle dostupnosti) [9, 7, 10,12, 13, 15]

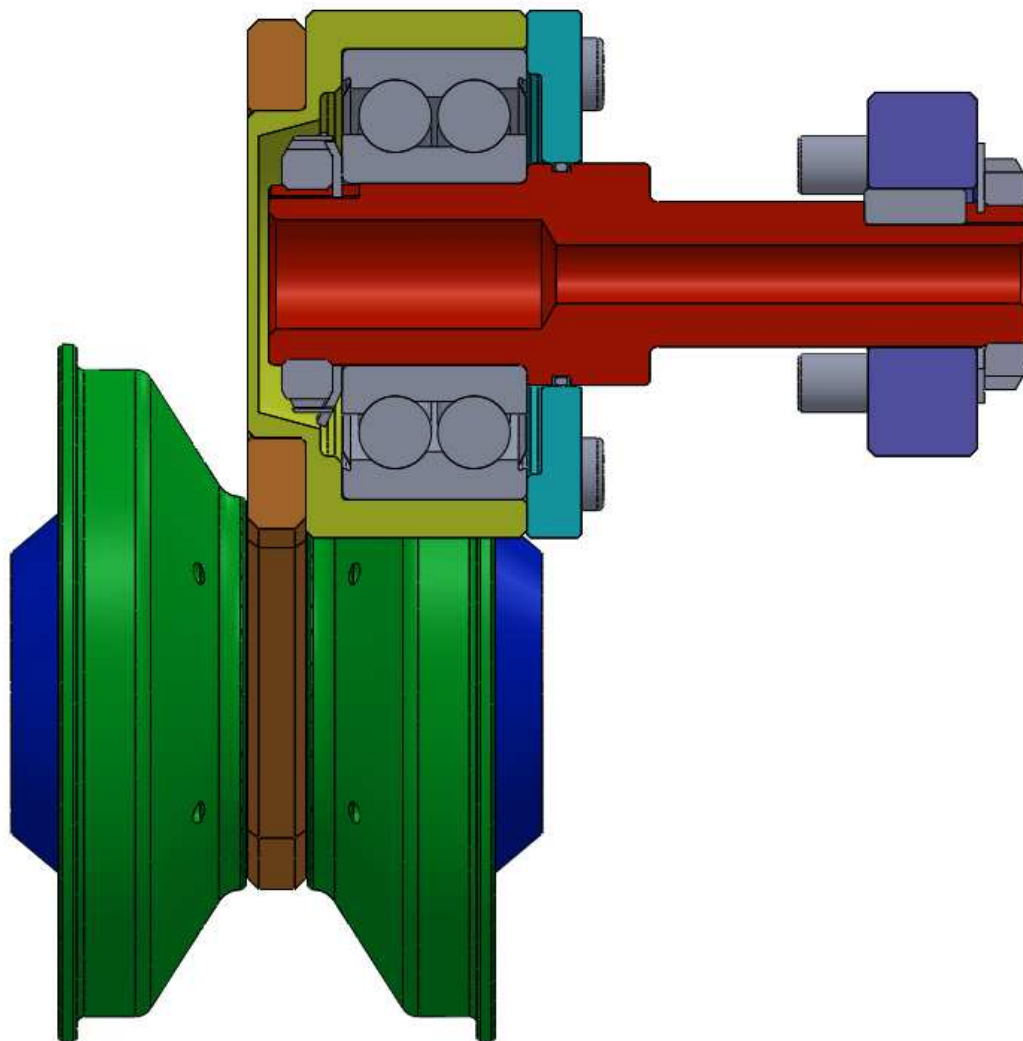
6.4 Řemenice kyvná

Tato řemenice se skládá ze dvou řemenic vodících, které rotují okolo kyvného kloubu. Tento kloub je uchycen napevno k rámu robotu. Řemenice jsou umístěny ve stejné výšce jako řemenice vodící. Tím že jsou uloženy kyvně, zabezpečují lepší přilnavost pásu k vozovce, při velkých změnách reliéfu vozovky.



Obr. 25 Sestava řemenice kyvné

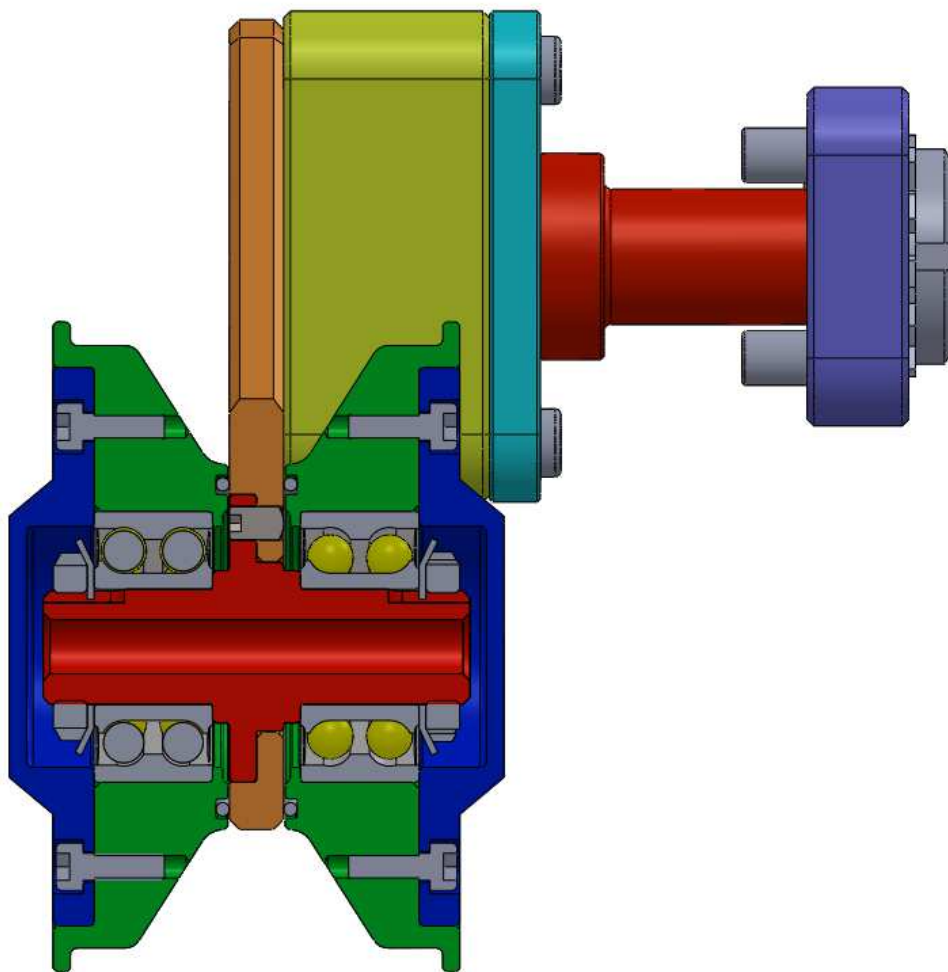
Hlavním konstrukční rozdíl mezi řemenicí kyvnou a vodící, je rozpůlení řemenice kyvné z důvodu maximální šíře robotu. Rozteč řemenic zajišťuje nerezový plech (kyvadlo), na který jsou uchyceny řemenice. Kyvadlo je uchyceno k domku, který umožňuje rotaci kolem své osy.



Obr. 26 Řez kyvným kloubem

- tyrkysová - víko
- modrá - deska
- červená - hřídel
- žlutá - domek
- oranžová - kyvadlo

Na Obr. 26 je vidět řez kyvným kloubem. Na hřídeli je umístěno ložisko SKF 3305 A_2Z-0, které je zajištěno pomocí MB podložky a KM matice. Vnější kroužek ložiska je nalisován do domku a jeho poloha vymezena pomocí víka. Těsnost téhle sestavy zajišťuje O-kroužek, který je uložen na hřídeli v drážce. Hřídel je umístěn do vložky v rámu a z druhé strany pojištěn deskou a čtyřmi šrouby M8x16 DIN 912 A4. Technickoekonomické zhodnocení. [9, 7, 10, 12, 13, 15]



Obr. 27 Řez půlenou řemenicí

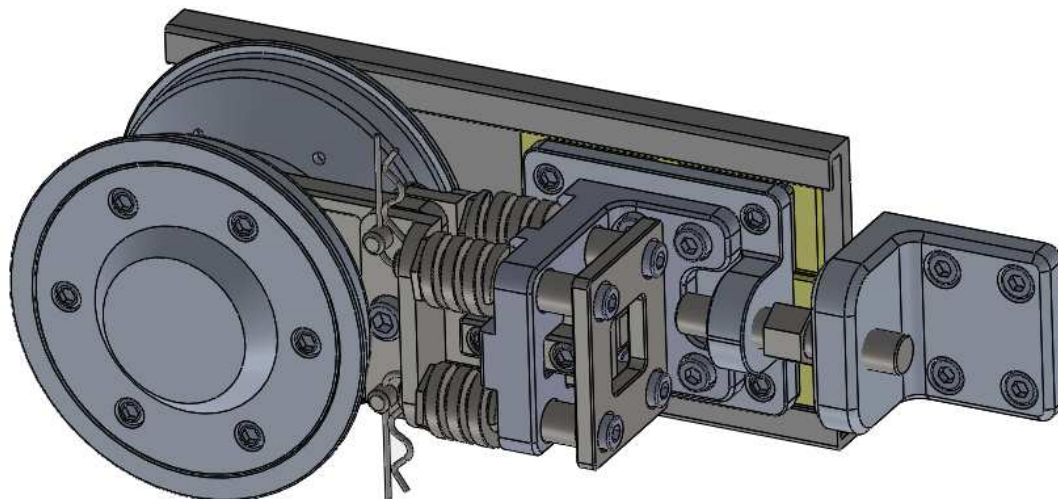
- zelená - řemenice
- modrá - víko
- červená - hřídel
- oranžová - kyvadlo

Kvůli nutným úsporám místa je tato řemenice půlená. Středem řemenice vede kyvadlo, ve kterém je zasazen hřídel. Tvarové spojení mezi kyvadlem a hřídelem, slouží k zachycení možné rotace mezi těmito díly. Vysunutí pojišťují tři stavěcí šrouby M5x8 DIN 417/A4.

Na vnější kroužky ložisek Ložiska SFK 3203 A-2ZTN9 se nalisují řemenice. Do drážek na vnitřních stranách řemenic se umístí O-kroužky, pro zajištění těsnosti celé sestavy. Vnitřní kroužek ložiska se nasune na hřídel a zajistí pomocí MB podložek a KM matic. V posledním kroku se zajistí vnější kroužek pomocí víka. [9, 7, 10,12, 13, 15]

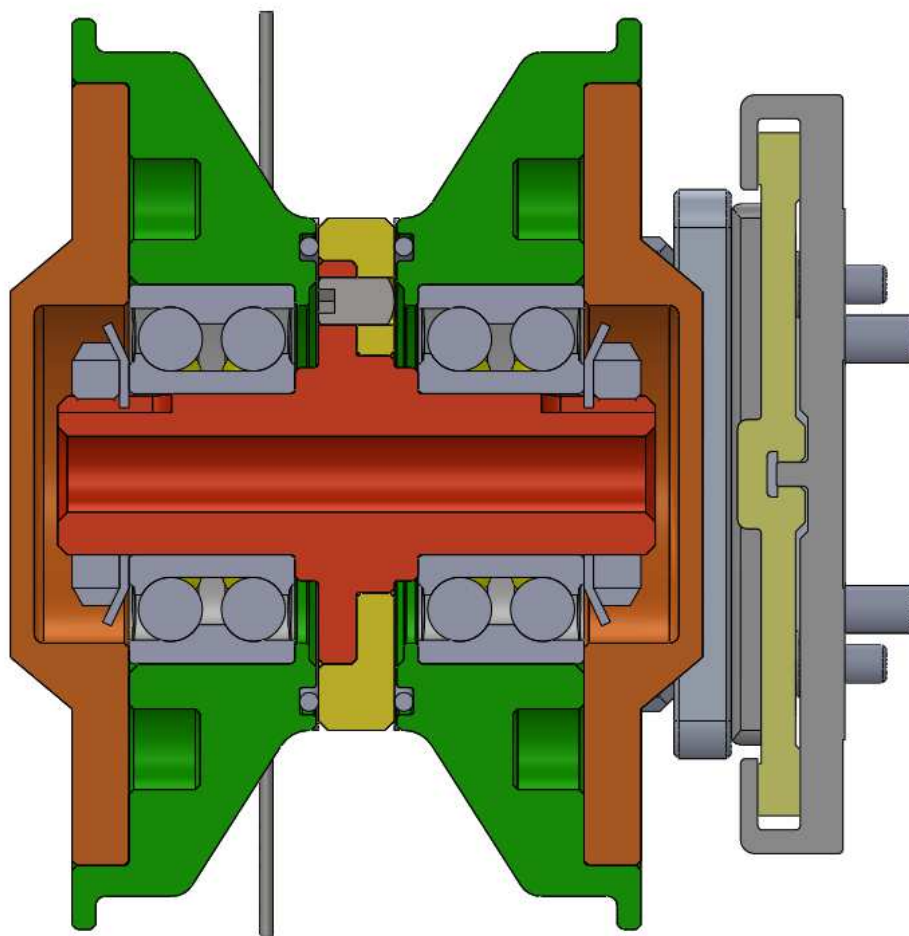
6.5 Řemenice napínací

Poslední částí lokomočního ústrojí robotu je řemenice napínací. Řemenice se nachází v zadní části robota. Hlavním účelem této řemenice je udržování pásu v napnuté poloze v průběhu jízdy robotu ARES.



Obr. 28 Řemenice napínací

Řemenice je uchycena na nízko profilovém lineárním vedení pomocí různých konzol. Lineární vedení je pevně přichyceno k rámu robotu. Pružiny umístěné v konstrukci napíná umožňují lineární pohyb řemenice. Díky tomuto je lokomoční ústrojí robotu v průběhu jízdy schopno kompenzovat změnu délky pásu v závislosti na míře zatížení pásů.



Obr. 29 Řez napínací řemenicí

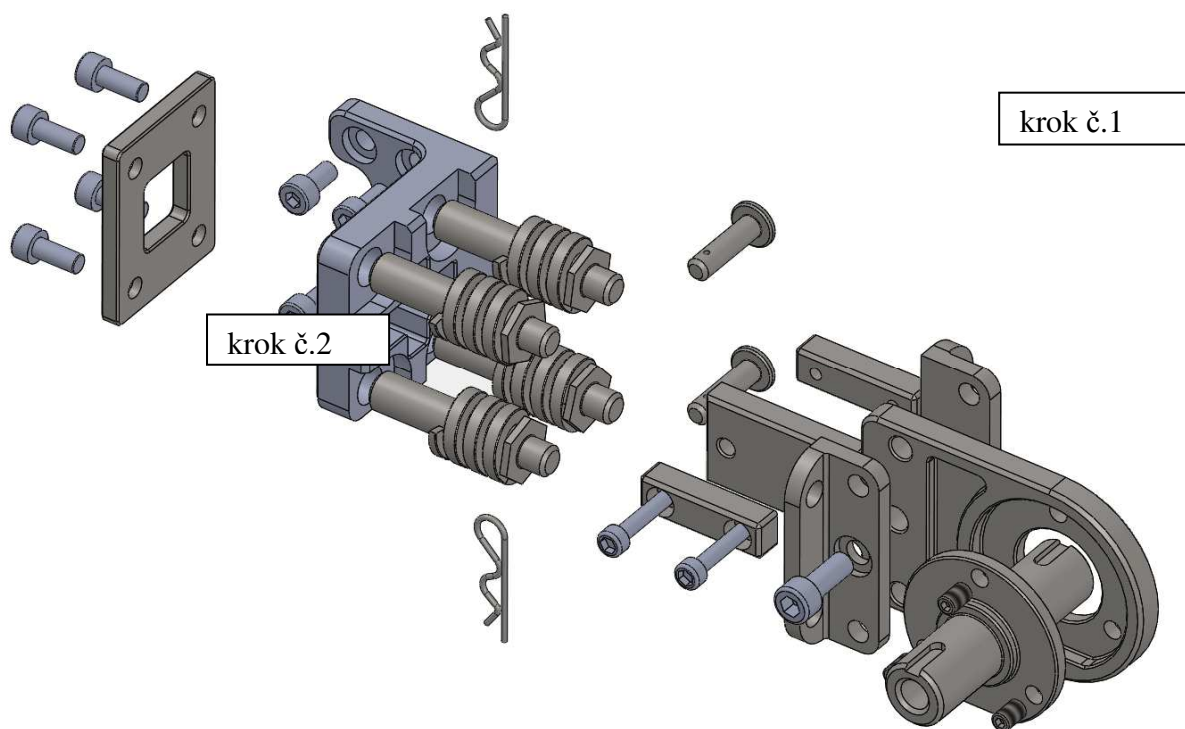
Napínací řemenice je konstrukčně totožná s řemenicí kyvnou. Místo kyvadla je zde deska. Náboj desky je totožný jako u kyvadla, je zde vyfrézována tvarová drážka. [9, 7, 10, 12, 13, 15]

- zelená - řemenice
- žlutá - deska
- červená - hřídel
- oranžová - víko

7. Montáž napínacího ústrojí

7.1 Montážní krok č.1

Napínací ústrojí nebo-li napínací řemenice se nachází v zadní části lokomočního ústrojí robotu. Účelem této řemenice je udržovat pás robotu v ideální napnutí. V této kapitole bude detailněji popsán postup montáže celé sestavy napínacího ústrojí

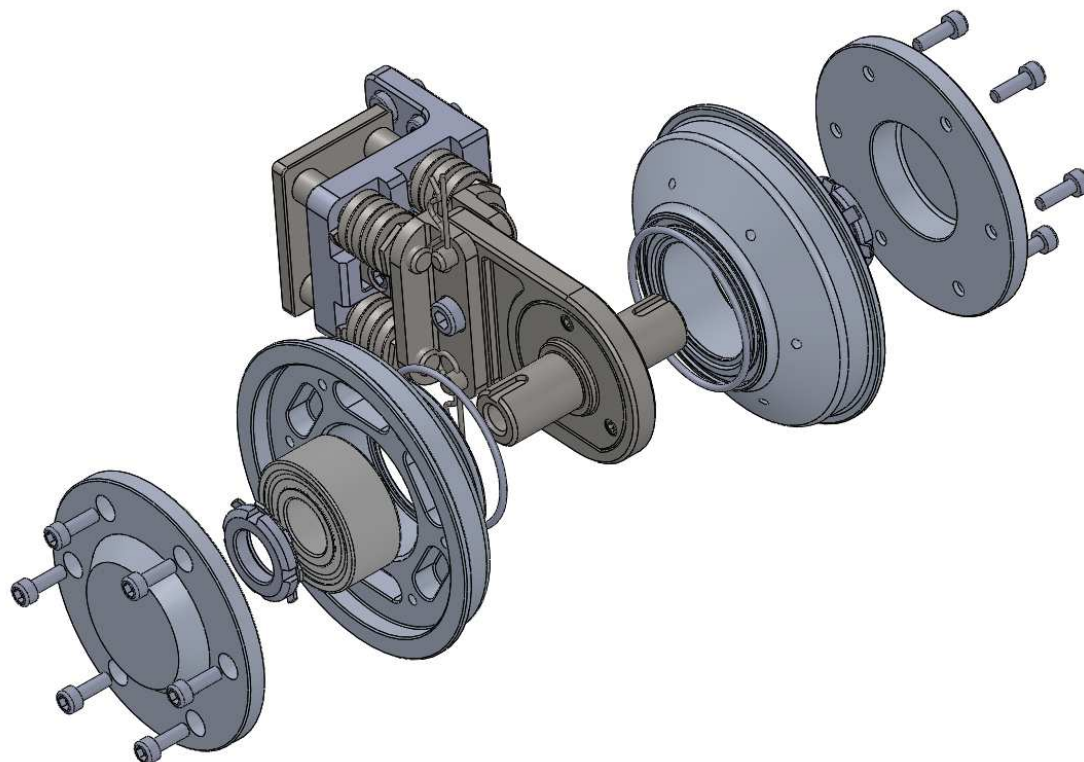


Obr. 30 První krok montáž napínací řemenice

Montáž tohoto ústrojí začíná sešroubováním hřídele s přírubou (viz Obr. 30 krok č.1). Hřídel je vsazena do náboje v přírubě. Pomocí tvarového styku je vymezená přesná poloha hřídel. Hřídel se zajistí pomocí tří stavěcích šroubů M5x8 DIN 417/A4. K přírubě se následně upevní dvě konzoly, které se ustaví pomocí dvou kolíků a zajistí se šroubem M6x16 DIN 912 A4. Kolíky se zajistí proti vysunutí pomocí závlačky DIN 11024. Nakonec se na přírubu upevní dvě kostky, které následně budou sloužit jako vedení řemenice.

7.2 Montážní krok č.2

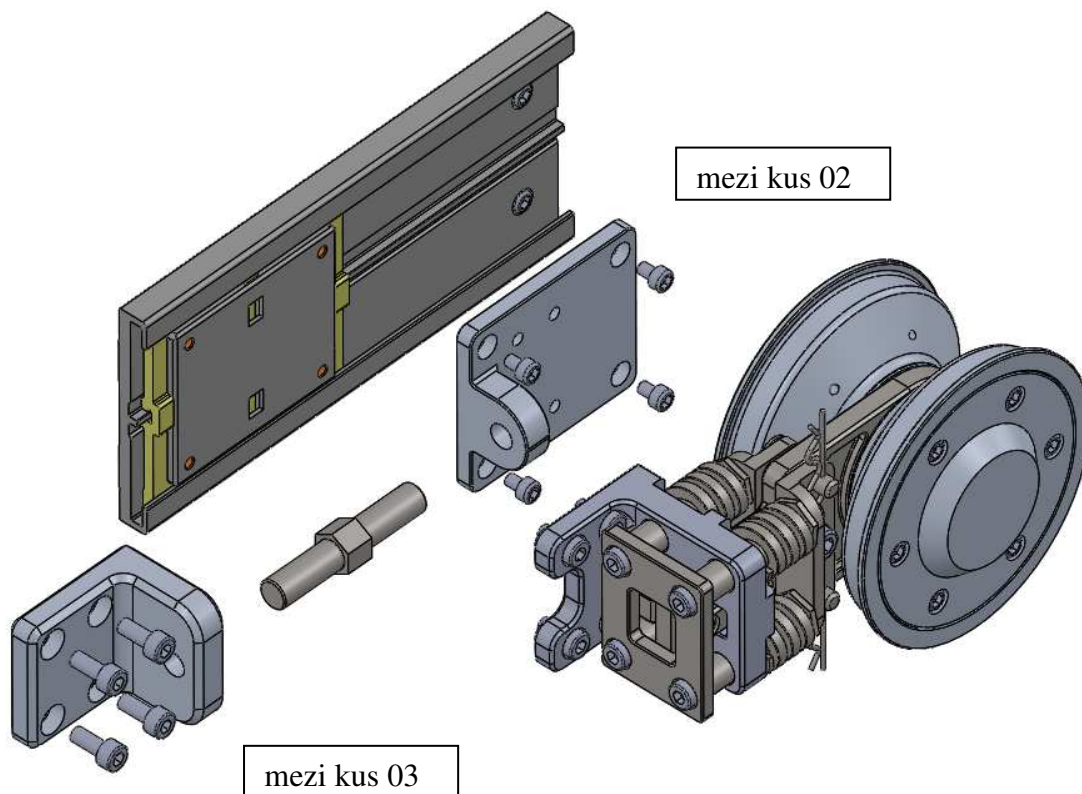
V kroku č.2 jsou do desky vsazeny čtyři vodící tyče spolu se čtyřmi tlačnými pružinami. Z levé strany jsou tyče zajištěny pomocí dorazu a čtyř šroubů M5x12 DIN 912 A4. Vodící tyče jsou z pravé strany opatřeny závitem. Tyče se zašroubují do konzol, které jsou součástí kroku č.1. K zašroubování tyčí se použije šestihranný klíč č. 15. Spojením těchto dvou kroků vznikne celek, který umožňuje vodorovný pohyb.



Obr. 31 Druhý krok montáže napínací řemenice

Na Obr.31 lze vidět již smontovaný první krok. V druhém kroku je třeba na hřídel umístit půlené řemenice z obou stran hřídele. Do řemenice se zalisují ložiska SKF 3203 A-2ZTN9. Ložiska se nasunou na konce hřídeli a vnitřní kroužek se opře o osazení na hřídeli. Z vnitřní strany řemenic je drážka pro O-kroužek 46x2 NBR70 DIN3770 pro zajištění těsnosti celé sestavy. Vnitřní kroužek z vnější strany se zajistí pomocí podložky MB3 a matice KM3. V posledním kroku se řemenice z vnější strany zakryje pomocí víka, které zároveň slouží k zajištění vnějšího kroužku ložiska. Víko se zajistí pomocí šesti šroubů M4x12 DIN 912 A4.

7.3 Montážní krok č.3



Obr. 32 Třetí krok montáže napínací kladky

V třetím kroku montáže se nízko profilové lineární vedení DRYLIN NK-02-80 přichytí k rámu robotu pomocí čtyř šroubů M6x10 DIN 912 A4. K profilovému vedení se přišroubuje mezi kus 02 se závitem. K tomuto dílu se uchyťí celek řemenice s napínacím systémem. Nakonec se uchyťí mezi kus 03 na rám robotu. Do závitu v mezi kuse 02 a 03 se zašroubuje stavěcí šroub, který je opatřen pravým a levým stoupáním závitu. Pomocí otáčení tohoto šroubu se docílí ideálního předepnutí pásu lokomočního ústrojí robotu ARES.

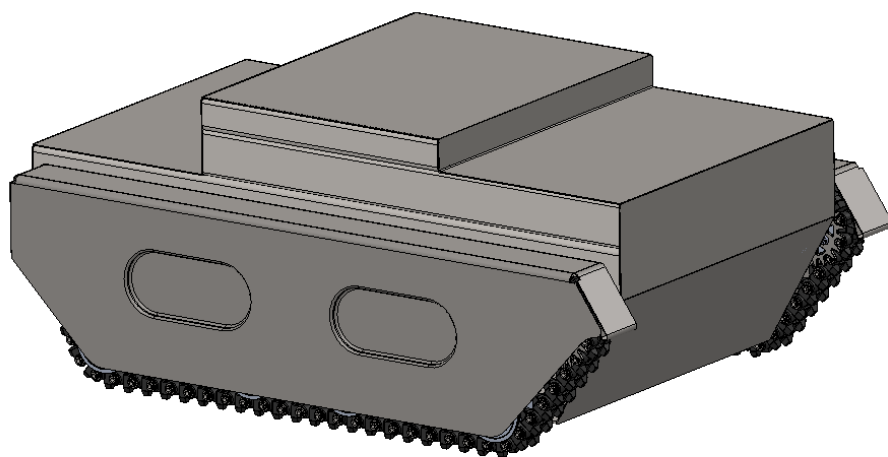
8. Bezpečnostní prvky pásové jednotky

Z důvodů zlepšení bezpečnosti lokomočního ústrojí robotu ARES, bylo navrženo krytování viz Obr.33. Tento způsob znemožní obsluhu, či jiné osobě během pohybu robotu vniknout do lokomočního ústrojí robotu. Krytování je zhotoveno z plechového výpalku. Síla tohoto plechu je 1mm. Z důvodu zlepšení tuhosti krytování, jsou zde umístěny dva prolisy.

Materiál krytování lze uzpůsobit dle konceptu pásové jednotky a to:

- Nerezový plech ČSN 10088-11.4301 (X5CrNi18-00)
- Žárově pozinkovaný plech DX 51

Předpoklad uchycení plechů, je pomocí nerezových šroubů přímo k rámu robotu.




Obr. 33 Krytování pásové jednotky

Další možností zlepšení bezpečnosti vozidla, je umístění senzorů v přední části lokomočního ústrojí robotu. Tyto senzory by měli za úkol detekovat objekty před robotem a upozornit obsluhu na možnost nebezpečí. Popřípadě snížit rychlost robotu na hodnotu, kdy obsluha je schopna včas reagovat a v případě možného vniku poranění včas robot zastavit.

9. Technickoekonomické zhodnocení

Následující tabulky obsahují cenové nabídky na jednotlivé podsestavy lokomočního ústrojí robotu ARES. V těchto cenách nejsou zahrnuty normalizované díly jako jsou ložiska, spojovací materiál, o-kroužky a další.

Název	Kusy	Cena za kus	Cena celkem
Pás	2	20 300,0 Kč	40 600,0 Kč
čep	70	180,0 Kč	12 600,0 Kč
hlava	70	110,0 Kč	7 700,0 Kč



Tab. 7 Cenová nabídka čepu pásu

Název	Kusy	Cena za kus	Cena celkem
Řemenice hnací	2	7 120,0 Kč	14 240,0 Kč
řemenice	1	1 800,0 Kč	1 800,0 Kč
věvec	2	1 500,0 Kč	3 000,0 Kč
hřídel hnací	1	600,0 Kč	600,0 Kč
domek	1	880,0 Kč	880,0 Kč
distanční kroužek 02	1	260,0 Kč	260,0 Kč
víko 07	1	580,0 Kč	580,0 Kč



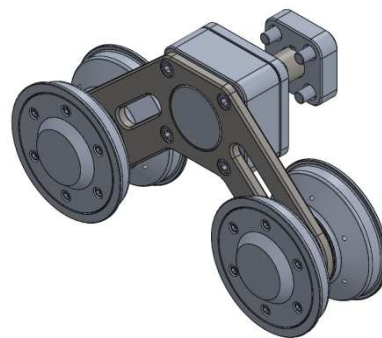
Tab. 8 Cenová nabídka hnací řemenice

Název	Kusy	Cena za kus	Cena celkem
Řemenice vodící	4	4 300,0 Kč	17 200,0 Kč
řemenice	1	1 400,0 Kč	1 400,0 Kč
víko	1	580,0 Kč	580,0 Kč
víko 02	1	580,0 Kč	580,0 Kč
deska	1	700,0 Kč	700,0 Kč
distanční kroužek	1	260,0 Kč	260,0 Kč
hřídel	1	780,0 Kč	780,0 Kč



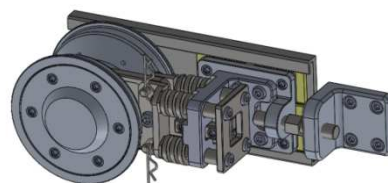
Tab. 9 Cenová nabídka vodící řemenice

Název	Kusy	Cena za kus	Cena celkem
Řemenice kyvná	2	12 620,0 Kč	25 240,0 Kč
kyvadlo	1	1 800,0 Kč	1 800,0 Kč
řemenice	4	900,0 Kč	3 600,0 Kč
hřídel 04	2	1 000,0 Kč	2 000,0 Kč
hřídel 05	1	780,0 Kč	780,0 Kč
Vložka	1	960,0 Kč	960,0 Kč
víko	4	580,0 Kč	2 320,0 Kč
deska	1	700,0 Kč	700,0 Kč
víko 06	1	460,0 Kč	460,0 Kč



Tab. 10 Cenová nabídka kyvné řemenice

Název	Kusy	Cena za kus	Cena Celkem
Řemenice napínací	2	13 980,0 Kč	27 960,0 Kč
řemenice	2	900,0 Kč	1 800,0 Kč
hřídel 04	1	1 000,0 Kč	1 000,0 Kč
příruba 03	1	1 600,0 Kč	1 600,0 Kč
víko	2	580,0 Kč	1 160,0 Kč
deska 02	1	2 400,0 Kč	2 400,0 Kč
deska 03	1	360,0 Kč	360,0 Kč
tyč vodící	4	280,0 Kč	1 120,0 Kč
mezikus 03	1	1 400,0 Kč	1 400,0 Kč
mezikus 02	1	880,0 Kč	880,0 Kč
stavěcí šroub	1	380,0 Kč	380,0 Kč
kostka	2	280,0 Kč	560,0 Kč
konzole	2	420,0 Kč	840,0 Kč
čep	2	240,0 Kč	480,0 Kč



Tab. 11 Cenová nabídka napínací řemenice

Další vyráběné díly, články pásů budou detailněji zkalkulovány dle příslušné technologie výroby. Náklady na spojovací materiál, ložiska a jiné normalizované díly jsou ve srovnání s díly vyráběnými několikanásobně menší položka. Předpoklad této ceny je 5000 Kč (+/- 15%). Celková cena vyráběných dílů činí 125 240 Kč. Předpokládaná cena na výrobu článků pásů (nejdražší varianta) 125 000 Kč. V ceně není započítaná montáž všech komponent a sestav. Celkovou cenu za lokomoční ústrojí robotu ARES lze předpokládat okolo 250 000 Kč.

10. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo provést zhodnocení stávajícího stavu provedení lokomočního ústrojí robotu ARES. Na základě získaných poznatků navrhnout řešení s využitím stávajících komponent. V úvodu této práce byla zpracována rešerše a možnosti využití lokomočních ústrojí robotů, nevýhody, výhody, druhy napínacích systémů a druhy provedení pásů.

Dle požadavkového listu byly zpracovány čtyři koncepční varianty řešení, které byly analyzovány pomocí vícekritériální analýzy dle zvolených kritérií.

Pro zvolenou variantu lokomočního ústrojí byla zpracována výpočtová zpráva spolu s výkresovou dokumentací jednotlivých podsestav lokomočního ústrojí robotu ARES. Z poznatků diplomové práce Ing. Marka Studénky, byly zachovány motory a návrhy ložisek, které jsou součástí stávajícího řešení. Byl navržen nový koncept napínání pásové jednotky a nejvýznamnější změnou tohoto lokomočního ústrojí je využití článkového pásu místo stávajícího řemenového pásu. Dále byly zkonstruovány jednotlivé podsestavy pásových jednotek.

Další část práce popisuje montáž napínací řemenice. Cenovou kalkulaci všech vyráběných dílů dle nabídky firmy SV-Olšovec.

Zhodnocení dosažených výsledků

- Lokomoční ústrojí robotu ARES je navrženo dle stávajících poznatků a zkušeností s obdobnými konstrukcemi s možností jízdy do schodů. Zlepšení zajištění pásu proti možnému vyzutí.
- Detailně byly zpracovány jednotlivé uzly lokomočního ústrojí včetně návrhu nakupovaných dílů.
- Byly dodrženy rozměrové požadavky na lokomoční robotu ARES.

Základní parametry konstrukce podvozku	
Výška x Šířka x Délka	330 x 740 x 1090 [mm]
Hmotnost podvozku	180 [kg]
Rychlost podvozku	3 [km/h]

Tab. 12 Limitní parametry robotu

- Pro řešení napínání pásů byly zhotoveny čtyři varianty řešení, kdy řešená varianta 1B vyřeší mnoho stávajících problémů.
- Technickoeconomické zhodnocení bylo konzultováno se strojní firmou na základě technické dokumentace navrhovaného řešení. Bylo zhotovena vypovídající cenová nabídka.
- Byl proveden návrh krytování lokomočního ústrojí robotu, pro zvýšení bezpečnosti, proti možnému vniknutí lidských končetin mezi rotující části ústrojí.

Další možnosti a náměty

- Možnost doplnění senzorů v přední části robota pro zvýšení bezpečnosti zařízení z důvodu možného poranění osob v okolí lokomočního ústrojí robotu
- Konstrukce článku pásu s ohledem na technologii výroby, požadavky provozu, materiál článku pásu.
- Materiál řemenic a jiných částí lokomočního ústrojí v závislosti na hmotnosti.

11. Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] KÁRNÍK, Ladislav; *Praktické aplikace servisních robotů*. 1. vydání. Náklad: Studijní materiály pro studijní obor Robotika Fakulty strojů, 2011. 93 s. ISBN 978-80-248-2727-8.
- [2] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části spojovací*. 1. vydání. Ostrava: Editační středisko VŠB, 2009. 91 s. ISBN 978-80-248-1290-8.
- [3] LEINVEBER, Jan, VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky: Pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 3. aktualizace vydání, Úvaly: Albra, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7
- [4] KONEČNÝ, Zdeněk. *Základy technické dokumentace*. Ostrava: VŠB v Ostravě, 2004. 86s. ISBN 80-248-0514-6.
- [5] STUDÉNKA, Marek. *Návrh modulární konstrukce pásového podvozku s proměnnou kinematikou rámu*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky, 2010, 81 s. Vedoucí diplomové práce: Kárník, L.
- [6] BURŠA, Jiří. HORNÍKOVÁ, Jana. JANÍČEK, Přemysl. *Pružnost a pevnost*. Brno, únor 2003, vydání první ISBN80-7204-268-8.

Internetové zdroje

- [7] Výpočet O-kroužků. *Trelleborg* [online]. 2016 [cit. 2016-23-04]. Dostupné z: <http://www.tss.trelleborg.com/>
- [8] Technické výpočty [online]. 2016 [cit. 2016-23-4]. Dostupné z: <http://www.e-konstrukter.cz/>
- [9] Volba O-kroužků *Hennlich* [online]. 2016 [cit. 2016-23-04]. Dostupné z: www.hennlich.cz
- [10] Kuličková ložiska. *SKF* [online]. 2016 [cit. 2016-23-04] Dostupné z: <http://www.skf.com/>

- [11] Hutní materiál. *Ferona* [online]. 2016 [cit. 2016-23-04]. Dostupné z:
<http://www.ferona.cz/cze/index.php>
- [12] Spojovací material. *Nerezka* [online]. 2016 [cit. 2016-23-04]. Dostupné z:
<http://www.nerezka.cz/>
- [13] Hliníkové polotovary. *Alcom Alval*[online]. 2016 [cit. 2016-23-04]. Dostupné z:
<http://www.hlinik.cz/>
- [14] Formy pro vstřikování plastů. [online]. 2016 [cit. 2016-23-04]. Dostupné z:
<http://www.hmmodel.cz/>
- [15] Konstrukce robotu RUDY. [online]. 2016 [cit. 2016-23-04]. Dostupné z:
<http://www.bvv.cz/msv/msv-2015/zlata-medaile/prihlasene-exponaty/10-ruda-robot-pro-hledani-osob-v-zavalech-a-lavina/>
- [16] Řemeny *Uzimex* . [online]. 2016 [cit. 2016-23-04]. Dostupné z:
<http://www.uzimex.cz/>
- [17] Výroba dílů *SV Olšovec* . [online]. 2016 [cit. 2016-23-04]. Dostupné z:
<http://www.sv-olsovec.cz/>

12. Seznam příloh

Výpočtová dokumentace

- Příloha [A] Pevnostní kontrola článků pásu
- Příloha [B] Návrh stavěcího šroubu
- Příloha [C] Návrh tlačné pružiny
- Příloha [D] Návrh drážkování hnací řemenice

Výkresová dokumentace

Sestavný výkres lokomočního ústrojí	BAKVLC0061-PÁSOVÁ_JEDNOTKAL
Sestavný výkres řemenice hnací	BAKVLC0061-ŘEMENICE_HNACÍ
Sestavný výkres řemenice vodící	BAKVLC0061-ŘEMENICE_VODÍCÍ
Sestavný výkres řemenice kyvné	BAKVLC0061-ŘEMENICE_KYVNÁ
Sestavný výkres řemenice napínací	BAKVLC0061-ŘEMENICE_NAPÍNACÍ
Výrobní výkres řemenice	BAKVLC0061-ŘEMENICE
Výrobní výkres čepu	BAKVLC0061-ČEP
Výrobní výkres hlavy	BAKVLC0061-HLAVA
Výrobní výkres hřídel hnací	BAKVLC0061-HŘÍDEL_HNACÍ

Pouze v elektronické podobě

Výpočty uložení O-kroužku

Přiložené CD

- Výpočtová dokumentace
- Textová dokumentace
- Výkresová dokumentace v programu SolidWorks

- Bakalářská práce.docx
- 3D model finální varianty lokomočního ústrojí v SolidWorks.

Přílohy

Výpočtová dokumentace

Příloha [A] Pevnostní kontrola článků pásu

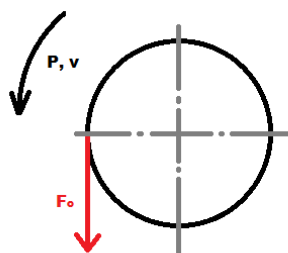
Předpoklad k tomuto výpočtu vychází z předpokladu maximální síly vyvozené kroutícím momentem od výstupního hřídele z převodové skříně robotu.

1. Obvodová síla F_o

$$\text{Výkon motoru } P \quad P = 900 \text{ W} = 0,9 \text{ [kW]} \quad (1)$$

$$\text{Rychlost robotu } v \quad v = 0,833 \text{ [ms}^{-1}\text{]} \quad (2)$$

$$\text{Obvodová síla } F_o \quad F_o = \frac{P}{v} = \frac{9000}{0,833} = 1080,5 \cong 1100 \text{ [N]} \quad (3)$$



Obr. 34 Obvodová síla

2. Výsledný tah v pásu

$$\text{Součinitel bezpečnosti tahu pásu } k_B \quad k_B = 1,5 \quad (4)$$

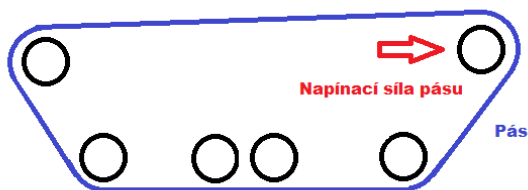
$$\text{Tahová síla pásu } F_1 \quad F_1 = F_o \cdot k_B = 1100 \cdot 1,5 = 1650 \text{ [N]} \quad (5)$$

3. Napínací síla pásu

Z teorie výpočtu řetězových převodů je znám vztah pro určení napínací síly. Tato síla je rovna 2-4 násobku výsledné síly v pásu. Aplikace pásového podvozku je pouze obdobou řetězového převodu, proto bude zvolen poměr menší.

$$\text{Součinitel bezpečnosti napínací síly } k_o \quad k_o = 1,6 \quad (6)$$

$$\text{Napínací síla } F_N \quad F_N = F_1 \cdot k_o = 1650 \cdot 1,6 = 2640 \text{ [N]} \quad (7)$$



Obr. 35 Napínací síla pásu

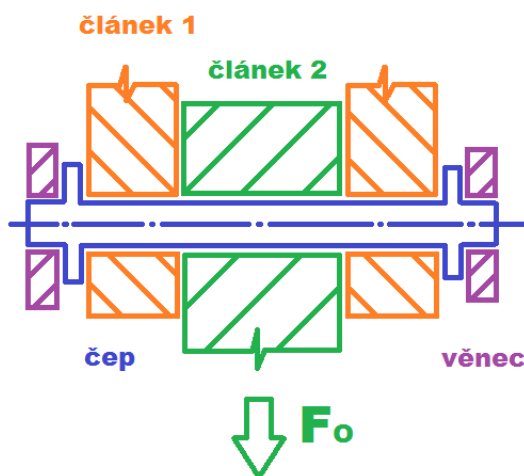
4. Kontrola měrného tlaku čepu pásu

$$\text{Dovolený měrný tlak } p_d \quad p_d = 35 \text{ [MPa]} \quad (8)$$

$$\text{Měrný tlak čepu pásu } p_v \quad p_v = \frac{F_N}{S} \leq p_d \quad (9)$$

$$p_v = \frac{F_N}{S} = \frac{2640}{2 \cdot \pi \cdot d \cdot l} = \frac{2640}{2 \cdot \pi \cdot 0,012 \cdot 0,003} = 15,56 \text{ [MPa]} \quad (10)$$

$$p_v \leq p_d \quad (11)$$



Obr. 36 Schéma uložení článků pásu

Měrný tlak je kontrolován mezi stykovými plochami čepu a věnce. Na těchto plochách jsou čepy unášeny pomocí krouticího momentu od motoru, převodovky robotu.

5. Kontrola ohybu čepu pásu

Materiál čepů pásu lze předpokládat nerezovou ocel ČSN 10088-11.4301 (X5CrNi18-00). Jedná se o běžně dostupnou nerezovou ocel. [3]

Mechanické vlastnosti pro polotovary, tyče, válcovaný drát a profily při 20°C ve stavu po rozpouštěcím žihání podle EN 10088-3	Tloušťka (d) mm	Tvrdost HB max. inf. 1)	Rp0,2 min. MPa	Rp 1,0 min. MPa	Rm MPa 1)	A % min. 1)		Vrubová houž. (ISO-V) KV / J min.	
						L	Q	L	Q
	d ≤ 160	215	190	225	500 až 700	45	-	100	-
	160 < d ≤ 250	215	190	225	500 až 700	-	35	-	60

L – podélný směr zkoušení, Q – příčný směr zkoušení.
1) pro za studena tažené profily a tyče tloušťky ≤ 35 mm se může maximální hodnota tvrdosti zvýšit o 100 jednotek a pevnost o 200 MPa. Minimální hodnota prodloužení (A) se v tomto případě snižuje na 20%. Pro válcovaný drát platí pouze hodnoty pevnosti.

Tab. 13 Mechanické vlastnosti polotovaru [11]

$$\text{Dovolené ohybové napětí } \sigma_d \quad \sigma_d = 190 \text{ [MPa]} \quad (12)$$

$$\text{Ohybové napětí } \sigma_o \quad \sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_d \quad (13)$$

$$\text{Ohybový moment } M_o \quad M_o = \frac{F_N}{2} \cdot l = \frac{2640}{2} \cdot 0,025 = 33 \text{ [Nm]} \quad (14)$$

$$\text{Modul průřezu ohybu } W_o \quad W_o = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{12^4 - 4^4}{12} = 167,55 \text{ [Nm]} \quad (15)$$

KVADRATICKÝ MOMENT PRŮŘEZU, MODUL PRŮŘEZU V OHYBU MEZIKRUŽÍ

Vstupní parametry

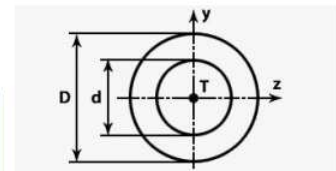
D vnější průměr mm d vnitřní průměr mm

VYPOČÍTAT

Výstupní hodnoty

Iy kvadratický moment k ose y mm⁴ Iz kvadratický moment k ose z mm⁴

Woz=Woy modul průřezu v ohybu mm³



Obr. 37 Kvadratický moment mezikružší[8]

$$\text{Ohybové napětí } \sigma_o \quad \sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{33}{167,55} = 196,95 \text{ [MPa]} \quad (16)$$

Toto napětí je vypočteno v situaci zatěžování pouze jednoho čepu pásu. V konstrukčním záměru jsou v záběru čtyři čepy zároveň. Výsledné ohybové napětí bude čtvrtinové.

$$\text{Ohybové napětí } \sigma_o \quad \sigma_o = \frac{196,95}{4} = 49,23 \text{ [MPa]} \quad (17)$$

$$\text{Součinitel bezpečnosti } k \quad k = \frac{\sigma_d}{\sigma_o} = \frac{190}{49,23} = 3,85 \quad (18)$$

Příloha [B] Návrh stavěcího šroubu

Výpočet stavěcího šroubu u napínací kladky pásového modulu robotu ARES je zhotoven dle postupu výpočtu Části a mechanismy strojů. [5]

1. Napínací síla F_N – určení min. průměru šroubu

$$\text{Napínací síla } F_N \quad F_N = F_1 \cdot k_o = 1650 \cdot 1,6 = 2640 \text{ [N]} \quad (19)$$

$$\beta \cdot \sigma_d \leq \sigma_D \quad (20)$$

$$\beta \cdot \frac{F_o}{\frac{\pi d^3}{4}} \leq \frac{R_e}{k_s} \quad (21)$$

$$k_s = 2 \quad (22)$$

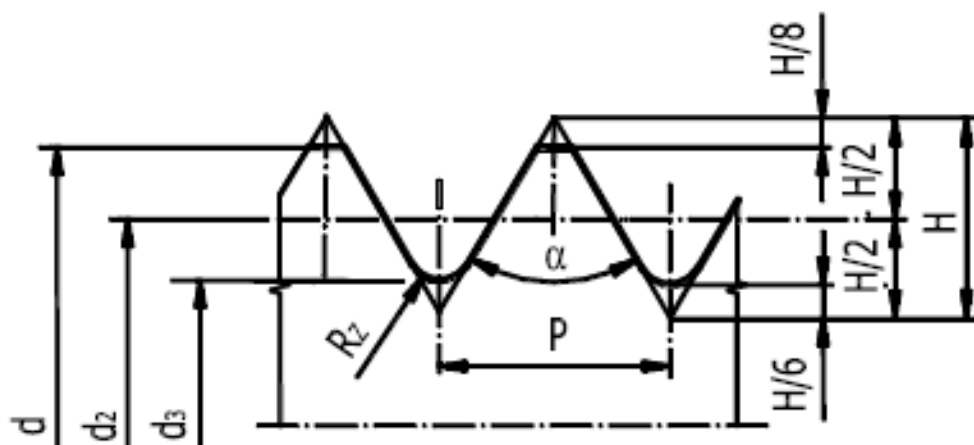
$$\beta = 1,3 \quad (23)$$

$$\text{Mez kluzu } R_e \quad R_e = 210 \text{ [MPa]} \quad (24)$$

$$\text{Malý průměr závitu šroubu } d_3 \quad d_3 = 2 \cdot \sqrt{\frac{\beta \cdot k_s \cdot F_o}{\pi \cdot R_e}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{1,3 \cdot 2 \cdot 2650}{\pi \cdot 210}} = 6,46 \text{ [mm]} \quad (25)$$

2. Volba závitu šroubu

Na základě zatížení a bezpečnosti byl zvolen závit šroubu M10.



Obr. 38 Rozměry závitu [2]

Materiál šroubu ocel ČSN 10088-11.4301 (X5CrNi18-00)

$$\text{Velký průměr závitu šroubu } d \quad d = 9,968 \quad [\text{mm}] \quad (26)$$

$$\text{Střední průměr závitu šroubu } d_2 \quad d_2 = 8,994 \quad [\text{mm}] \quad (27)$$

$$\text{Malý průměr závitu šroubu } d_3 \quad d_3 = 8,128 \quad [\text{mm}] \quad (28)$$

$$\text{Velký průměr závitu matice } D \quad D = 10,0 \quad [\text{mm}] \quad (29)$$

$$\text{Střední průměr závitu matice } D_1 \quad D_1 = 9,026 \quad [\text{mm}] \quad (30)$$

$$\text{Malý průměr závitu matice } D_3 \quad D_3 = 8,376 \quad [\text{mm}] \quad (31)$$

$$\text{Stoupání závitu } P \quad P = 1,25 \quad [\text{mm}] \quad (32)$$

Z tabulek byl zvolen součinitel tření f_z , pro ocel – ocel.

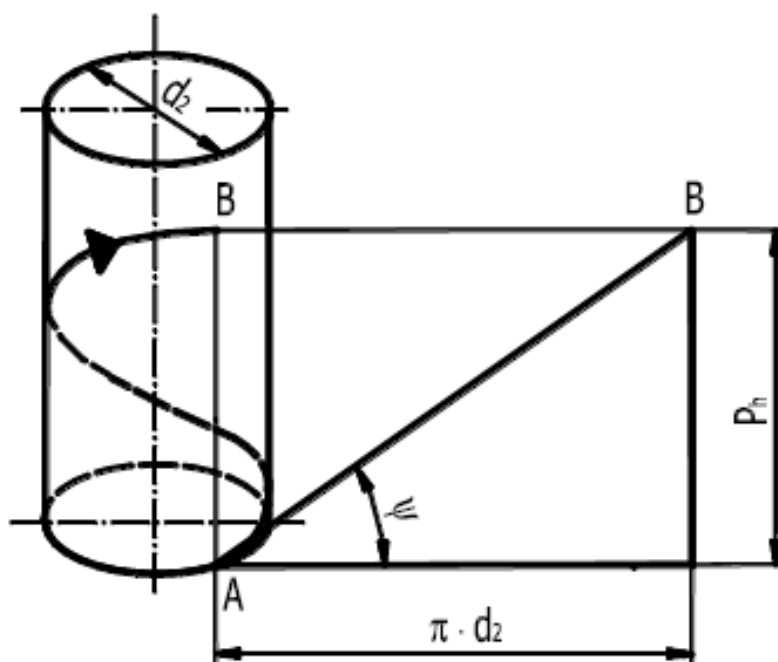
$$\text{Součinitel tření} \quad f_z = 0,15 \quad (33)$$

3. Rozbor zatížení šroubu

$$\text{Úhel stoupání závitu } \psi \quad \psi = \arctg \frac{P}{\pi \cdot d_2} = \arctg \frac{1,25}{\pi \cdot 8,994} = 2,53 \quad [^\circ] \quad (34)$$

$$\text{Třecí úhel } \varphi \quad \varphi = \arctg \frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \arctg \frac{0,15}{\cos 15^\circ} = 8,82 \quad [^\circ] \quad (35)$$

$$\psi \leq \varphi \quad (36)$$



Obr. 39 Stoupání závitu [2]

Tečná síla F_{TZ}

$$F_{TZ} = F_N \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi)$$

$$F_{TZ} = 2640 \cdot \operatorname{tg}(2,53 + 8,82) = 530 \quad [\text{N}] \quad (37)$$

Krouticí moment šroubu M_{TZ}

$$M_{TZ} = F_{TZ} \cdot \frac{d_2}{2} = 530 \cdot \frac{8,994}{2} = 2,383 \quad [\text{Nm}] \quad (38)$$

Krouticí moment M_k

$$M_k = 2 \cdot M_{TZ} = 2 \cdot 2,383 = 4,766 \quad [\text{Nm}] \quad (39)$$

Smykové napětí τ

$$\tau = \frac{M_{TZ}}{W_k} = \frac{F_o \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi) \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}}$$

$$\tau = \frac{2640 \cdot \operatorname{tg}(2,53 + 8,82) \cdot \frac{8,994}{2}}{\frac{\pi \cdot 8,376^3}{16}} = 20,65 \quad [\text{MPa}]$$

Ohybové napětí σ

$$\sigma_d = \frac{F_o}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{2640}{\frac{\pi \cdot 8,376^2}{4}} = 48 \quad [\text{MPa}] \quad (40)$$

Dovolené napětí σ_D

$$\sigma_D = \frac{R_e}{k_s} = \frac{210}{2} = 105 \quad [\text{MPa}] \quad (41)$$

Redukované napětí σ_{red}

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_d^2 + 4 \cdot \tau^2}$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{48^2 + 4 \cdot 20,65^2} = 63,32 \quad [\text{MPa}] \quad (42)$$

$$\sigma_{red} \leq \sigma_D \quad (43)$$

4. Výpočet výšky matice

Materiál matice je zvolen stejný jako u šroubu:

ocel ČSN 10088-11.4301 (X5CrNi18-00)

Dovolený měrný tlak p_d

$$p_d = 70 \quad [\text{MPa}] \quad (44)$$

$$H_1 = \frac{d - D_1}{2} = \frac{9,968 - 9,026}{2} = 0,471 \quad [\text{mm}] \quad (45)$$

Výška matice z

$$z \geq \frac{F_o}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot p_D} = \frac{2640}{\pi \cdot 8,994 \cdot 0,471 \cdot 70} \quad (46)$$

$$z \geq 2,83 \cong 10 \quad [\text{mm}] \quad (47)$$

Výpočet stavěcího šroubu a jeho následná kontrola určila rozměr M10x1,25. Výška matice je 10mm.

Příloha [C] Návrh tlačné pružiny

Z předpokládaného vysokého zatížení a mnoho cyklů byla zvolena speciální pružina čtvercového tvaru. Parametry byly zvoleny na základě napínací síly. V napínacím systému je počítáno se čtyřmi pružinami.

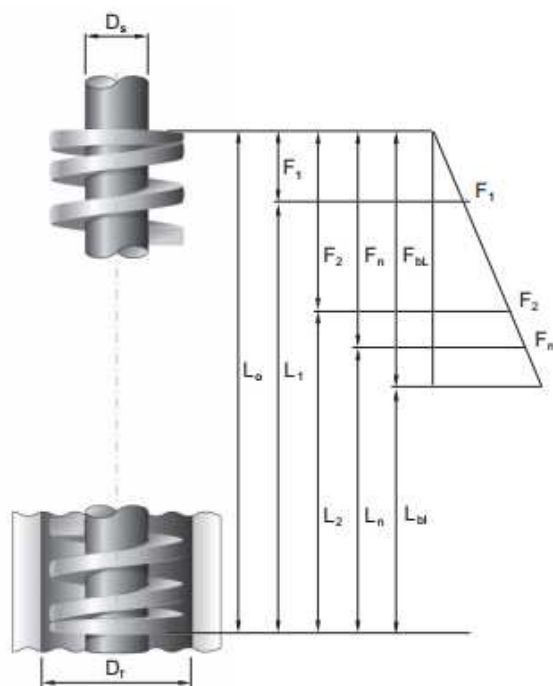
1. Základní vlastnosti pružiny

$$\text{Průměr vodícího pouzdra } D_f \quad D_f = 20 \quad [\text{mm}] \quad (48)$$

$$\text{Průměr vodícího trnu } D_s \quad D_s = 10 \quad [\text{mm}] \quad (49)$$

$$\text{Délka pružiny ve stavu volném } L_o \quad L_o = 25 \quad [\text{mm}] \quad (50)$$

$$\text{Síla pružiny } F_1 \quad F_1 = 660 \quad [\text{N}] \quad (51)$$



Legenda

D_f [mm]	průměr vodícího pouzdra
D_s [mm]	průměr vodícího trnu
f [mm]	stlačení pružiny
f_{bl} [mm]	stažení pružiny na dosed
F [N]	síla vyvinutá pružinou při stlačení f
F_{bl} [N]	síla vyvinutá pružinou při f_{bl}
L_o [mm]	délka pružiny ve stavu volném
L [mm]	délka pružiny při stlačení f
L_{bl} [mm]	délka pružiny při stlačení f_{bl}
R_g [N/mm]	tuhost pružiny

Obr. 40 Schéma tlačné pružiny

2. Materiál pružiny

Materiál byl zvolen, pružinová ocel 1.7149 viz níže.

Přehled vlastností oceli 20MnCr5 (20MnCrS5)										1.7147 (1.7149)					
Druh oceli	Nizkolegovaná ušlechtilá mangan-chromová ocel k cementování														
TDP	CSN EN 10084														
Dřívější označení	20MnCr5 (20MnCrS5) podle DIN 17210, 14 221 podle ČSN														
Použití	Středně namáhané díly motorových vozidel a strojní součásti určené k cementování s vyšší pevností v jádře. Prokaluje do hloubky ca 40 mm. V porovnání s 16MnCr5 má vyšší prokalitelnost a vyšší pevnost v jádře při nižší houževnatosti.														
Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)	C	Si max.	Mn	P max.	S ¹⁾ max.	Cr	Mo	Ni	Al						
	0,17 – 0,22	0,40	1,10 – 1,40	0,035	0,035	1,00 – 1,30	-	-	Při kontrolované velikosti austenitického zrna 0,015-0,050 (informativně, není uvedeno v normě).						
Dovolené odchylky ve od rozboru tavby ve výrobku ⁴⁾	± 0,02	+ 0,03	± 0,05	+ 0,005	+ 0,005	± 0,05	-	-							
Mechanické hodnoty v jádře referenčního vzorku po kalení a popuštění při 150-200 °C (uvedené hodnoty nejsou součástí EN 10084) ²⁾	Průměr mm		Rp0,2 min MPa		Rm MPa		A min %		Z min %		KCU min. J.cm ²				
	d ≤ 11		930		1225 – 1570		7		-		18				
	11 < d ≤ 25		685		930 – 1225		8		-		20				
	25 < d ≤ 40		540		785 – 1080		9		-		25				
Hodnoty tvrdosti HB pro stav :	Zpracováno na stříhatelnost (S)			Žiháno na měkko (A)			Zpracováno na rozmezí tvrdosti (TH)			Zpracováno na feriticko-perlitickou strukturu (FP)					
	max. 255			max. 217			170 - 217			152 - 201					
	Stav po válcování			Stav po normalizaci			Žiháno na globulární cementit (vhodné pro tvárání za studena)								
	ca 260 ⁵⁾			ca 240 ⁵⁾			max. 185 ⁵⁾								
Prokalitelnost ³⁾	Druh	Meze	Vzdálenost od plochy kaleného čela v mm												
			Tvrdost v HRC												
	H		1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40
		max.	49	49	48	46	43	42	41	39	37	35	34	33	32
	min.	41	39	36	33	30	28	26	25	23	21	-	-	-	
	HH	max.	49	49	48	46	43	42	41	39	37	35	34	33	32
		min.	44	42	40	37	34	33	31	30	28	26	25	24	23
	HL	max.	46	46	44	42	39	37	36	34	32	30	29	28	27
		min.	41	39	36	33	30	28	26	25	23	21	-	-	-

Pásky prokalitelnosti

Vzdálenost od kaleného čela v mm

Popouštěcí křivka (referenční vzorek průměr 10 mm).

Teplota popouštění ve st. C

Technologické vlastnosti							
Tvárění za tepla	Doporučené rozmezí teplot pro tvárání za tepla : 1100 až 900 °C						
Tepeelné zpracování	Normalizační žihání °C	Žihání na měkko °C	Isotermické žihání °C	Teplota cementace °C ^{a)}	Teplota kalení na jádro °C ^{b)}	Teplota kalení na povrch °C ^{c)}	Teplota popouštění °C ^{d)}
	860	650 až 700	850 až 950 650 1 hod.	880 až 980	860 – 900 olej (voda)	780 až 820 olej (voda)	150 až 200
	Body přeměny : Ac ₁ ~ 730°C, Ac ₃ ~ 830°C, Ms (základní materiál) ~ 390°C, Ms (cementovaná vrstva) ~ 200°C						
	Uvedené podmínky jsou doporučené. ^{a)} při jednoduchém kalení se ocel kalí z teploty cementace nebo nižší (závisí na tvaru výrobku). ^{b)} druh ochlazovacího prostředku závisí na př. na tvaru výrobku a na podmínkách ochlazování. ^{c)} doba popouštění minimálně 1 hod.						
	Pro dobrou obrobitelnost je výhodný stav FP. Zlepšenou obrobitelnost vykazuje ocel 20MnCrS5 se zvýšeným obsahem S.						
	Ocel je stříhatelná za studena ve stavu po válcování						

¹⁾ Obsah síry u oceli 20MnCrS5 je 0,020 až 0,040 % s dovolenou úchytkou v hotovém výrobku ± 0,005 %.

²⁾ Slouží k průkazu dosažitelnosti mechanických hodnot v jádře referenčního vzorku odpovídajícího průřezu po kalení a popuštění. Údaje jsou převzaty z literatury.

³⁾ Rp0,2 – mez 0,2; Rm – pevnost v tahu; A – tažnost (počáteční měřená délka L₀ = 5,65√S₀); KCU – nárazová práce, zkušební těleso KCU s U-vrubem.

⁴⁾ ± znamená, že u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí rozboru tavby, ale nikoli obě současně.

⁵⁾ Uvedené údaje jsou informativní a nejsou součástí EN 10084.

Tab. 14 Vlastnosti pružinové oceli

3. Dovolené napětí

$$\text{Dovolené ohybové napětí } \sigma_{pt} \quad \sigma_{pt} = 1225 \quad [\text{MPa}] \quad (52)$$

$$\text{Dovolené smykové napětí } \tau_{kd} \quad \tau_{kd} = 0,8 \cdot \sigma_{pt} = 0,8 \cdot 1225 = 980 \quad [\text{MPa}] \quad (53)$$





4. Rozměr drátu

Podle průměrů byla zvolena následující pružina, při kompresi 30%.

D _i [mm]	D _s [mm]	L ₀ [mm]	R _p [N/mm]	L _u [mm]	f _u [mm]	13% fbl		30% fbl		45% fbl		62% fbl		80% fbl		Číslo zboží
						[mm]	[N]	[mm]	[N]	[mm]	[N]	[mm]	[N]	[mm]	[N]	
10	5	25	36,8	17	8	1,0	37	2,4	88	3,6	132	5,0	184	6,2	228	CXF 10 x 25
		32	27,9	22	10	1,3	36	3,0	84	4,5	126	6,2	173	8,0	223	CXF 10 x 32
		38	23,7	26	12	1,6	38	3,6	85	5,4	128	7,4	175	9,5	225	CXF 10 x 38
		44	19,2	30	14	1,8	35	4,2	81	6,3	121	8,7	167	11,0	211	CXF 10 x 44
		51	16,5	35	16	2,1	35	4,8	79	7,2	119	9,9	163	13,0	215	CXF 10 x 51
		64	13,2	44	20	2,6	34	6,0	79	9,0	119	12,4	164	16,0	211	CXF 10 x 64
		76	10,9	52	24	3,1	34	7,2	78	10,8	118	14,9	162	19,0	207	CXF 10 x 76
		305	2,6	210	95	12,4	32	28,5	74	42,8	111	58,9	153	76,0	198	CXF 10 x 305
12,5	6,3	25	58,5	17	8	1,0	59	2,4	140	3,6	211	5,0	293	6,2	363	CXF 13 x 25
		32	43,9	22	10	1,3	57	3,0	132	4,5	198	6,2	272	8,0	351	CXF 13 x 32
		38	36,0	26	12	1,6	58	3,6	130	5,4	194	7,4	266	9,5	342	CXF 13 x 38
		44	30,3	30	14	1,8	55	4,2	127	6,3	191	8,7	264	11,0	333	CXF 13 x 44
		51	26,2	35	16	2,1	55	4,8	126	7,2	189	9,9	259	13,0	341	CXF 13 x 51
		64	21,2	44	20	2,6	55	6,0	127	9,0	191	12,4	263	16,0	339	CXF 13 x 64
		76	17,1	52	24	3,1	53	7,2	123	10,8	185	14,9	255	19,0	325	CXF 13 x 76
		89	14,5	61	28	3,6	52	8,4	122	12,6	183	17,4	252	22,0	319	CXF 13 x 89
		305	4,3	210	95	12,4	53	28,5	123	42,8	184	58,9	253	76,0	327	CXF 13 x 305
16	8	25	118,0	17	8	1,0	118	2,4	283	3,6	425	5,0	590	6,2	732	CXF 16 x 25
		32	89,0	22	10	1,3	116	3,0	267	4,5	401	6,2	552	8,0	712	CXF 16 x 32
		38	72,1	26	12	1,6	115	3,6	260	5,4	389	7,4	534	9,5	685	CXF 16 x 38
		44	60,9	30	14	1,8	110	4,2	256	6,3	384	8,7	530	11,0	670	CXF 16 x 44
		51	52,3	35	16	2,1	110	4,8	251	7,2	377	9,9	518	13,0	680	CXF 16 x 51
		64	41,2	44	20	2,6	107	6,0	247	9,0	371	12,4	511	16,0	659	CXF 16 x 64
		76	34,1	52	24	3,1	106	7,2	246	10,8	368	14,9	508	19,0	648	CXF 16 x 76
		89	29,5	61	28	3,6	106	8,4	248	12,6	372	17,4	513	22,0	649	CXF 16 x 89
		102	25,6	69	33	4,3	110	9,9	253	14,9	381	20,5	525	26,0	666	CXF 16 x 102
		305	8,4	210	95	12,4	104	28,5	239	42,8	360	58,9	495	76,0	638	CXF 16 x 305
20	10	25	293,0	17	8	1,0	293	2,4	703	3,6	1055	5,0	1465	6,2	1817	CXF 20 x 25
		32	224,0	22	10	1,3	291	3,0	672	4,5	1008	6,2	1389	8,0	1792	CXF 20 x 32

Tab. 15 Velikost pružiny

Rozměr drátu viz níže.

D _H	D _d	L _o	b×h	R	 17% 3.000.000	 20% 1.500.000	 25% 200.000				
mm	mm	mm		N/mm	mm	N	mm	N	mm	N	mm
20	10	44	4.1×3.7	140.0	7.5	1050	8.8	1232	11.0	1540	13.8
		51		123.0	8.7	1070	10.2	1255	12.8	1574	16.3
		64		94.0	10.9	1025	12.8	1203	16.0	1504	21.1
		76		78.7	12.9	1015	15.2	1196	19.0	1495	24.7
		89		68.0	15.1	1027	17.8	1210	22.3	1516	29.0
		102		60.0	17.3	1038	20.4	1224	25.5	1530	34.0
		115		52.8	19.6	1035	23.0	1214	28.8	1521	38.5
		127		47.5	21.6	1026	25.4	1207	31.8	1511	42.5
		139		43.0	23.8	1023	28.0	1204	35.0	1505	46.5
		152		38.7	25.8	998	30.4	1176	38.0	1471	50.9
		305		21.0	51.9	1090	61.0	1281	76.3	1602	103.7

Tab. 16 Rozměr drátu pružiny

$$\text{Šířka drátu } b \quad b = 4,1 \quad [\text{mm}] \quad (54)$$

$$\text{Výška drátu } h \quad h = 3,7 \quad [\text{mm}] \quad (55)$$

5. Deformační stlačení

$$\text{Počet činných závitů } n \quad n = 7 \quad (56)$$

$$\epsilon = \frac{b}{h} = \frac{4,1}{3,7} = 1,1 \quad (57)$$

$$\text{Modul pružnosti ve smyku } G \quad G = \frac{E}{2(1+\mu)} = \frac{210}{2(1+0,3)} = 80,76 \quad [\text{GPa}] \quad (58)$$

$$\text{Stlačení pružiny} \quad s = \frac{\epsilon \cdot F \cdot n \cdot D^3}{G \cdot b^2 \cdot h^2} = \frac{1,1 \cdot 660 \cdot 5 \cdot 20^3}{80,76 \cdot 10^3 \cdot 4,1^2 \cdot 3,7^2} = 2,18 \quad [\text{mm}] \quad (59)$$

6. Napětí materiálu pružiny v krutu

$$\psi = \frac{b}{h} = \frac{4,1}{3,7} = 1,1 \quad (60)$$

$$\text{Napětí ve smyku } \tau_k \quad \tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{\psi \cdot F \cdot D}{b \cdot h \cdot \sqrt{b \cdot h}} \quad (61)$$

$$\tau_k = \frac{1,1 \cdot 660 \cdot 20}{4,1 \cdot 3,7 \cdot \sqrt{4,1 \cdot 3,7}} = 245,75 \quad [\text{MPa}] \quad (61)$$

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} \leq \tau_{kd} \quad (62)$$

$$245,75 \leq 980 \quad (63)$$

Pružina pevnostně vyhovuje, pokud by se ukázalo, že pružina je příliš tuhá, je možné tyto pružiny zaměnit o méně tuhé. Avšak vnější rozměry pružiny jako jsou D_f a D_s budou zachovány.

Příloha [D] Návrh drážkování hnací řemenice

1. Provedení –hřídel (ocel) náboj (ocel)

$$\text{Krouticí moment } M_k \quad M_k = F_k \cdot \frac{D}{2} = 1100 \cdot \frac{0,11}{2} = 60,5 \quad [\text{Nm}] \quad (64)$$

$$\sigma_D = 20 \quad [\text{MPa}] \quad (65)$$

$$\text{Malý průměr náboje drážkování } d \quad d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_k}{\pi \cdot \sigma_D}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 60500}{\pi \cdot 20}} = 24,88 \quad [\text{mm}] \quad (66)$$

Drážkování dle ČSN 01 4942 6x26g7x30a11x6f7

$$\text{Malý průměr drážkování } d \quad d = 26 \quad [\text{mm}] \quad (67)$$

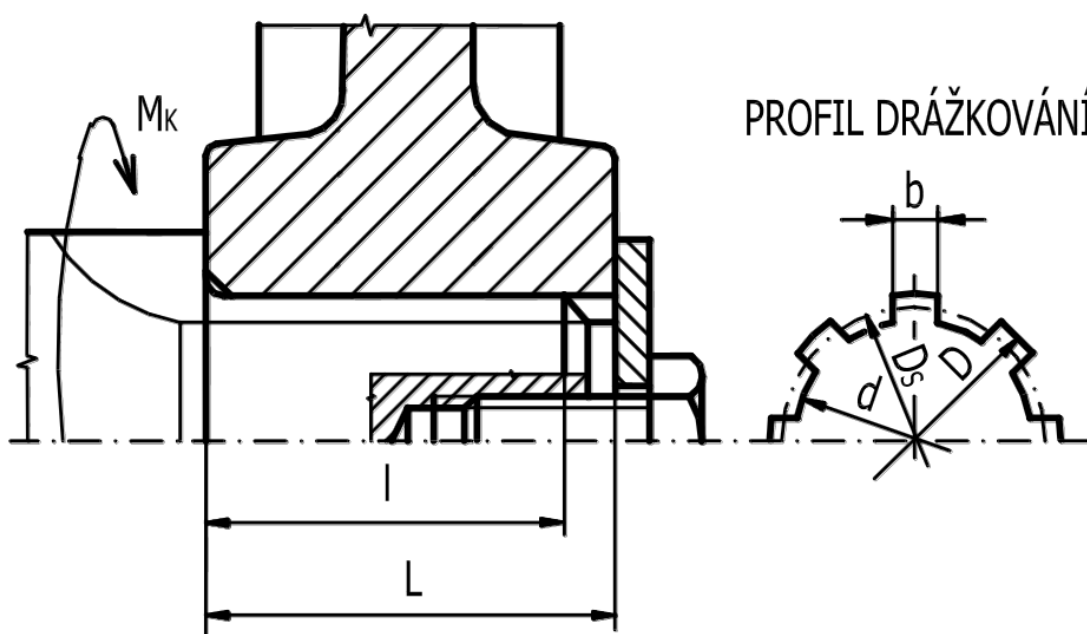
$$\text{Velký průměr drážkování } D \quad D = 30 \quad [\text{mm}] \quad (68)$$

$$\text{Profil drážkování } b \quad b = 6 \quad [\text{mm}] \quad (69)$$

$$f = 0,3 \quad [\text{mm}] \quad (70)$$

$$r = 0,2 \quad [\text{mm}] \quad (71)$$

$$\text{Dovolený měrný tlak } p_D \quad p_D = 70 \quad [\text{MPa}] \quad (72)$$



Obr. 41 Profil drážkování [2]

Určení měrného tlaku v drážkování:

$$f = \frac{3}{4} \cdot z \cdot (h - 2 \cdot f) \cdot 1$$

$$f = \frac{3}{4} \cdot z \cdot \left(\frac{D-d}{2} - 2 \cdot f \right) \cdot 1$$

$$f = \frac{3}{4} \cdot 6 \cdot \left(\frac{30-26}{2} - 2 \cdot 0,3 \right) \cdot 1 = 6,3 \quad [\text{mm}] \quad (73)$$

Síla v drážkování F

$$F = \frac{2 \cdot M_k}{D_s} = \frac{2 \cdot M_k}{\frac{(D+d)}{2}} = \frac{2 \cdot 60500}{\frac{(30+26)}{2}} = 4325 \quad [\text{MPa}] \quad (74)$$

Délka drážkování l

$$l = \frac{F}{f \cdot p_D} = \frac{4325}{1,8 \cdot 190} = 3,6 \cong 15 \quad [\text{mm}] \quad (75)$$

Měrný tlak p

$$p_1 = p_2 = p = \frac{F}{f_l} \leq p_D \quad (76)$$

$$p = \frac{F}{f_l} \leq p_D \quad (77)$$

$$p = \frac{4325}{6,3 \cdot 15} = 45,76 \quad [\text{MPa}] \quad (78)$$

Měrný tlak p je menší než dovolený měrný tlak p_D . Drážkování ČSN 01 4942 6x26g7x30a11x6f7 pevnostně vyhovuje.

2. Provedení –hřídel (ocel) náboj (hliník)

$$\text{Krouticí moment } M_k \quad M_k = F_k \cdot \frac{D}{2} = 1100 \cdot \frac{0,11}{2} = 60,5 \quad [\text{Mm}] \quad (79)$$

$$\sigma_D = 20 \quad [\text{MPa}] \quad (80)$$

$$\text{Malý průměr náboje drážkování } d \quad d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_k}{\pi \cdot \sigma_D}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 60500}{\pi \cdot 20}} = 24,88 \quad [\text{mm}] \quad (81)$$

Drážkování dle ČSN 01 4942 6x26g7x30a11x6f7

$$\text{Malý průměr drážkování } d \quad d = 26 \quad [\text{mm}] \quad (82)$$

$$\text{Velký průměr drážkování } D \quad D = 30 \quad [\text{mm}] \quad (83)$$

$$\text{Profil drážkování } b \quad b = 6 \quad [\text{mm}] \quad (84)$$

$$f = 0,3 \quad [\text{mm}] \quad (85)$$

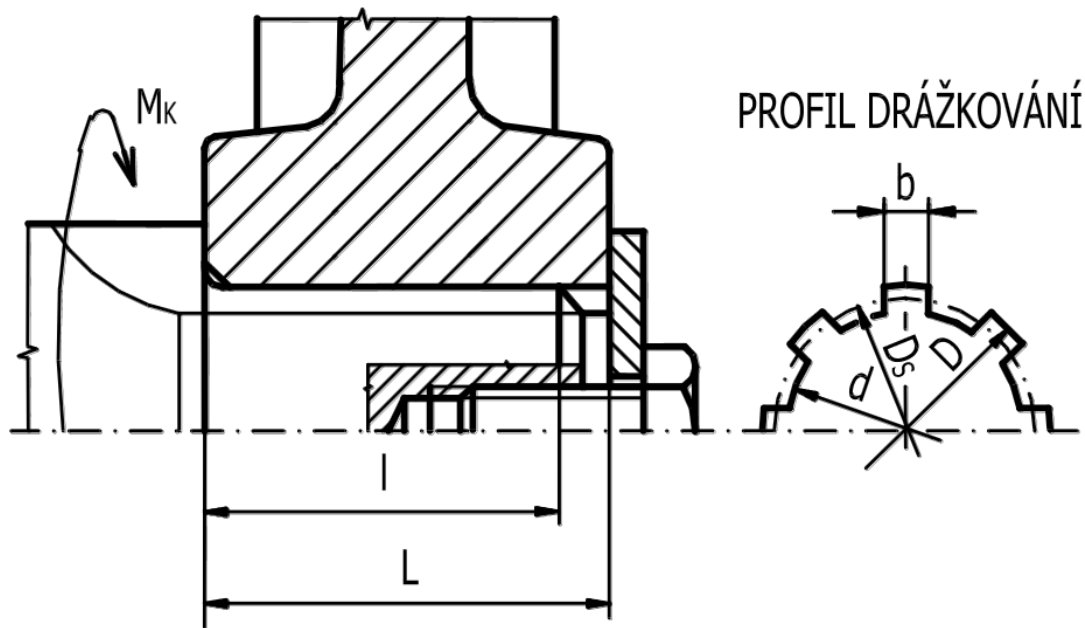
$$r = 0,2 \quad [\text{mm}] \quad (86)$$

Dovolený měrný tlak p_D

$$p_D = 30$$

[MPa]

(87)



Obr. 42 Profil drážkování [2]

Určení měrného tlaku v drážkování:

$$f = \frac{3}{4} \cdot z \cdot (h - 2 \cdot f) \cdot 1$$

$$f = \frac{3}{4} \cdot z \cdot \left(\frac{D-d}{2} - 2 \cdot f \right) \cdot 1$$

$$f = \frac{3}{4} \cdot 6 \cdot \left(\frac{30-26}{2} - 2 \cdot 0,3 \right) \cdot 1 = 6,3 \quad [\text{mm}] \quad (89)$$

Síla v drážkování F

$$F = \frac{2 \cdot M_k}{D_s} = \frac{2 \cdot M_k}{\frac{(D+d)}{2}} = \frac{2 \cdot 60500}{\frac{(30+26)}{2}} = 4325 \quad [\text{N}] \quad (90)$$

Délka drážkování l

$$l = \frac{F}{f \cdot p_D} = \frac{4325}{1,8 \cdot 190} = 3,6 \approx 25 \quad [\text{mm}] \quad (91)$$

Měrný tlak p

$$p_1 = p_2 = p = \frac{F}{f \cdot l} \leq p_D \quad (92)$$

$$p = \frac{F}{f \cdot l} \leq p_D \quad (93)$$

$$p = \frac{4325}{6,3 \cdot 25} = 27,46 \quad [\text{MPa}] \quad (94)$$

Měrný tlak p je menší než dovolený měrný tlak p_D . Drážkování ČSN 01 4942 6x26g7x30a11x6f7 pevnostně vyhovuje. Oproti uložení ocel – ocel, je zvolena větší délka drážkování, konstrukční provedení umožňuje délku drážkování až 50mm. Zvolený materiál EN AW-6061 T6, výrobci neudávají měrný dovolený tlak, tudíž byl tlak úměrně ponížen.